

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ  
UNIVERZITA OSTRAVA**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Katedra elektroenergetiky

Porovnání kvalitativních a kvantitativních vlastností světelných zdrojů

EMOS používaných jako náhrada klasických žárovek

Comparison of Qualitative and Quantitative Properties of EMOS Light  
Sources used as a Replacement of Classical Light Bulbs

**2019**

**Štěpán Kostka**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Štěpán Kostka**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Porovnání kvalitativních a kvantitativních vlastností světelných zdrojů  
EMOS používaných jako náhrada klasických žárovek  
Comparison of Qualitative and Quantitative Properties of EMOS Light  
Sources used as a Replacement of Classical Light Bulbs

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- Popis různých typů světelných zdrojů s paticí E27
- Normativní požadavky na světelné zdroje s paticí E27
- Teorie měření světelně-technických parametrů světelných zdrojů
- Měření křivek svítivosti, spektrálního vyzařování a elektrických parametrů světelných zdrojů s paticí E27
- Srovnání a vyhodnocení jednotlivých naměřených a katalogových parametrů

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] [www.csorsostrava.cz](http://www.csorsostrava.cz)


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



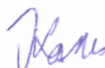
  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 25. dubna 2019

.....  


Podpis studenta

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na měření a porovnávání kvalitativních a kvantitativních vlastností světelných zdrojů s patičí E27. Teoretická část práce je zaměřena na popis a konstrukční provedení běžně dostupných světelných zdrojů s patičí E27. Druhá část se zabývá normativními požadavky na světelné zdroje s patičí E27. Následuje třetí část, zaměřená na popis a teorii měření jednotlivých světelně-technických veličin a ostatních parametrů světelných zdrojů.

Praktická část se zabývá měřením a srovnáváním spektrálních charakteristik, křivek svítivosti, elektrických a světelně-technických parametrů světelných zdrojů od firmy EMOS. Naměřené hodnoty jsou porovnávány s naměřenými hodnotami klasické žárovky od firmy OSRAM.

## **Klíčová slova:**

Světelný zdroj, klasická žárovka, halogenová žárovka, kompaktní zářivka, kompaktní LED světelný zdroj, křivky svítivosti, světelný tok, spektrální analýza, měrný výkon

## **Abstract**

This dissertation is focused on measurement and comparison of qualitative and quantitative features of light source with E27 cap. The theoretical part of this paper is focusing on description and components construction of commonly used light sources with E27 cap. The second part is then about norm requirements for light source with E27 cap. The following third part is based on description and measurement theory of individual light-technical quantities and other parameters of light sources.

In the practical part of this paper, a description of measurement and comparison of spectrum characteristics, luminance curves, electrical and light-technical parameters of light sources from EMOS is offered. The measured findings are then compared with findings from classic type lightbulb from OSRAM.

## **Key words**

light source, classic bulb, halogen bulb, compact fluorescent lamp, compact LED light source, luminous intensity, luminous flux, spectral analysis, specific power

## Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Tomášovi Novákovi, Ph.D. a prof. Ing. Karlovi Sokanskému, CSc. za cenné připomínky a ochotu při vypracovávání této práce.

Zvláštní poděkování patří také firmě EMOS spol. s.r.o. za zapůjčení testovaných světelných zdrojů a poskytnuté zázemí pro měření.

Mimořádné poděkování patří celé mé rodině za finanční a morální podporu po celou dobu trvání bakalářského studia.

Za jazykovou korekci, finální úpravy textu a podporu v těžkých chvílích děkuji mé partnerce Martině Pfefferové.

Děkuji také Ondřejovi Cupalovi za asistenci a ochotu při měření.

## OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	POPIS RŮZNÝCH TYPŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ S PATICÍ E27 .....	4
2.1	Základní rozdělení světelných zdrojů .....	4
2.2	Teplotní světelné zdroje .....	4
2.2.1	Klasická žárovka .....	4
2.2.2	Základní světelné a elektrické parametry klasických žárovek .....	6
2.2.3	Halogenová žárovka .....	7
2.3	Výbojové světelné zdroje .....	10
2.3.1	Zářivka.....	10
2.3.2	Kompaktní zářivka .....	10
2.4	Elektroluminiscenční světelné zdroje .....	12
2.4.1	Kompaktní LED světelný zdroj s Edisonovou paticí .....	13
2.4.2	Konstrukce kompaktního LED světelného zdroje s paticí E27.....	13
2.4.3	Výhody a nevýhody kompaktních LED světelných zdrojů.....	17
3	NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA SVĚTELNÉ ZDROJE S PATICÍ E27 ...	19
3.1	Ekodesign.....	19
3.2	Patice a objímky .....	19
3.2.1	Konkrétní normativní požadavky na patici E27 .....	20
3.2.2	Konkrétní normativní požadavky na objímku E27 .....	23
4	TEORIE MĚŘENÍ SVĚTELNĚ-TECHNICKÝCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ .....	24
4.1	Světelný tok.....	24
4.2	Měrný světelný výkon.....	25

4.3	Index podání barev .....	25
4.4	Náhradní teplota chromatičnosti .....	25
4.5	Standartní odchylka při srovnávání barevnosti .....	26
4.6	Účíník .....	27
4.7	Měření světelného toku .....	27
4.8	Měření čar svítivosti .....	28
5	MĚŘENÍ KŘIVEK SVÍTIVOSTI, SPEKTRÁLNÍHO VYZAŘOVÁNÍ A ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ S PATICÍ E27 .....	30
5.1	Seznam měřených světelných zdrojů .....	30
5.2	Klasická žárovka OSRAM .....	32
5.2.1	Měření světelných parametrů klasické žárovky .....	33
5.3	Halogenová žárovka EMOS .....	34
5.3.1	Měření světelných parametrů halogenové žárovky .....	35
5.4	Kompaktní zářivka EMOS .....	36
5.4.1	Měření světelných parametrů kompaktní zářivky .....	37
5.5	Kompaktní vláknový LED světelný zdroj EMOS .....	38
5.5.1	Měření světelných parametrů kompaktní zářivky .....	39
5.6	Kompaktní SMD LED světelné zdroje EMOS .....	40
5.6.1	Kompaktní SMD LED světelný zdroj 2700 K .....	40
5.7	Měření příkonu, světelného toku a měrného výkonu v závislosti na čase ..	45
5.7.1	Klasická žárovka .....	45
5.7.2	Kompaktní zářivka .....	47
5.7.3	Kompaktní vláknový LED světelná zdroj .....	48
5.7.4	Kompaktní SMD LED světelný zdroj .....	49
6	SROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH NAMĚŘENÝCH A KATALOGOVÝCH PARAMETRŮ .....	50

6.1	Srovnání a vyhodnocení spektrálních charakteristik.....	50
6.2	Srovnání a vyhodnocení křivek svítivosti .....	51
6.3	Srovnání a vyhodnocení elektrických a světelně-technických parametrů v ustáleném stavu.....	52
6.4	Srovnání a vyhodnocení elektrických a světelně-technických parametrů v závislosti na čase.....	53
7	Závěr.....	54
8	Seznam použité literatury .....	55
9	Seznam obrázků.....	57
10	Seznam tabulek.....	60



<b><u>Značka</u></b>	<b><u>Jednotka</u></b>	<b><u>Veličina</u></b>
$\cos \varphi$	(-)	účinník
E	(lx)	osvětlenost
F	(Hz)	frekvence
I	(I)	proud
$K_m$	(-)	maximální účinek monochromatického záření
$K(\lambda)$	(-)	účinek monochromatického záření
M	(Nm)	točivý moment
U	(V)	napětí
P	(W)	příkon
R	( $\Omega$ )	odpor
$R_a$	(-)	index podání barev
S	(var)	zdánlivý výkon
T	(°C)	teplota
$T_c$	(K)	teplota chromatičnosti
$V(\lambda)$	(-)	poměrná účinnost monochromatického záření
$k_i$	(lx/lm)	integrační konstanta fotometru
l	(m)	délka
r	(m)	poloměr
t	(s)	čas
$\Phi(\lambda)$	(lm)	světelný tok dané vlnové délky
$\Phi_z(\lambda)$	(W)	zářivý tok dané vlnové délky
$\Omega$	(sr)	prostorový úhel
$\eta$	(lm/W)	měrný výkon
$\varphi$	(rad)	fázový posun mezi napětím a proudem

### **Seznam použitých zkratek**

ČSN	Česká technická norma
E14	Edisonův závit o průměru 14 mm
E27	Edisonův závit o průměru 27 mm
EN	European Standards – Evropská norma
EU	Evropská unie
IEC	International Electrotechnical Commission – Mezinárodní elektrotechnická komise
LED	Light Emitting Diode – Elektroluminiscenční dioda
RGB	Aditivní způsob míchání barev světla
SDCM barevnosti	Standard Deviation Colour Matching – Standardní odchylka při srovnávání
SMD	Surface Mount Device – Součástka pro povrchovou montáž

# 1 ÚVOD

Je tomu již téměř 140 let co se v laboratoři T. A. Edisona rozzářila první žárovka. Žárovka se stala za nedlouho nejrozšířenějším světelným zdrojem vůbec. Využití našla jak ve veřejném osvětlení, tak v osvětlování vnitřních prostor. Tento vynález se považuje za jeden z nejvýznamnějších vynálezů v novodobé historii. Rozvoj umělého osvětlení zásadním způsobem pomohl v průběhu průmyslové revoluce. Výroba v továrnách již nebyla závislá na přítomnosti denního světla a mohl být zaveden vícesměnný provoz.

V dnešní době je přibližně 19 % z celkové vyrobené elektrické energie využito na osvětlení, proto jsou na světelné zdroje kladeny čím dál tím vyšší nároky na kvalitu a energetickou účinnost. Vysoká konkurence na trhu nutí výrobce vyvíjet světelné zdroje s delší životností a větším měrným výkonem.

Společně s vývojem světelných zdrojů jde i světelně-technická normalizace. Z regálů obchodů postupně vymizely vybrané typy klasických a halogenových žárovek, z důvodu nízké energetické účinnosti. Nároky na vyšší energetickou účinnost se budou zvyšovat i nadále, proto se dá předpokládat, že dojde k dalšímu omezení prodeje některých stávajících světelných zdrojů.

Největší potenciál k rozvoji mají LED diody, jelikož dosahují vysokého měrného výkonu a dlouhé životnosti. Vyrábějí se v mnoha konstrukčních variantách a postupně nahrazují všechny stávající světelné zdroje.

Tato práce se zabývá měřením kvantitativních a kvalitativních světelných parametrů běžně dostupných světelných zdrojů. Všechny světelné zdroje byly otestovány v laboratorních podmínkách za použití profesionálních měřících přístrojů. Výsledky měření byly srovnány a vyhodnoceny.

## 2 POPIS RŮZNÝCH TYPŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ S PATICÍ E27

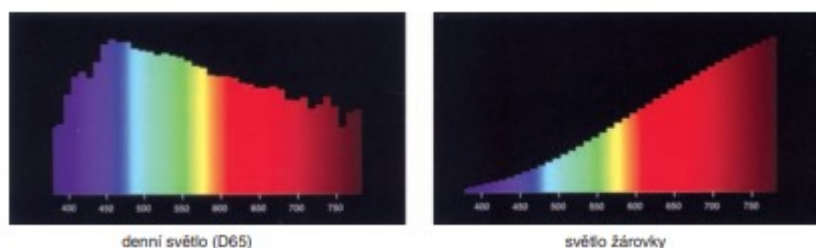
### 2.1 Základní rozdělení světelných zdrojů

Světelné zdroje pro osvětlování vnitřních prostor s paticí E27 můžeme rozdělit do třech základních skupin podle způsobu vzniku světla na:

- teplotní světelné zdroje (inkadescenční)
- výbojové světelné zdroje
- elektroluminiscenční světelné zdroje [2]

### 2.2 Teplotní světelné zdroje

Tyto světelné zdroje pracují na principu ohřevu pevné, elektricky vodivé látky na velmi vysokou teplotu. Takto rozžhavená látka je poté zdrojem elektromagnetického záření ve viditelné, infračervené a z části i ultrafialové části spektra. Elektrické světelné zdroje pracující na tomto principu nazýváme žárovky. Největší výhodou žárovek je, že vyzařují spojité spektrum. Spektrum žárovky se nejvíce podobá spektru, které je pro lidské oko nejpřirozenější, a to spektrum vyzařovaného sluncem. Naopak hlavní nevýhodou žárovek je velmi malá účinnost, se kterou se mění elektrická energie na světelnou. Tato malá účinnost je zapříčiněna tím, že největší část elektromagnetického záření je vyzařena v infračervené oblasti. [2]



Obrázek 1 - Poměrné spektrální složení denního světla D65 a světla žárovky [1]

#### 2.2.1 Klasická žárovka

Klasické žárovky jsou celosvětově nejznámějšími světelnými zdroji vůbec. V dobách, kdy se začala rozvíjet výroba světla z elektrické energie, většinu používaných světelných zdrojů tvořili právě klasické žárovky. V dnešní době jsou z trhu pomalu vytlačovány novějšími typy světelných zdrojů. Ačkoli jsou na trhu již řadu let k dostání jiné světelné zdroje s daleko lepší účinností a životností, obyčejné žárovky patří stále mezi nejrozšířenější světelné zdroje vůbec. Vyrábějí se masově v miliardových množstvích ročně. Na trhu je k dostání široká škála různých tvarů, velikostí, s různých jmenovitých příkonech a napětích. [1]

##### 2.2.1.1 Konstrukční provedení klasické žárovky

Zdrojem elektromagnetického záření je vlákno, které je u běžných žárovek vyrobeno z wolframového drátu svinutého do jednoduché nebo dvojité šroubovice. Průměr použitého drátu se pohybuje od 10 do 120  $\mu\text{m}$ . Vlákno vyzařuje spojité spektrum, které je charakterizováno náhradní teplotou chromatičnosti od 2700 do 2900 K. [1]

Toto vlákno je fixováno v požadované poloze pomocí přívodů a molybdenových podpěrek (háček), které jsou zapíchnuté v čočce skleněné tyčinky. Čočka vytváří společně s talířkem a čerpací trubicí takzvanou nožku. Nožka je s vláknem zatavená do vnější baňky. [1]

Baňka je vyrobená z měkkého sodno-vápenného skla. Může být buď čirá nebo mléčná, popřípadě zrcadlená nebo barevná.

Přívody k wolframovému vlákně se obvykle skládají ze tří částí – vnější, prostřední a vnitřní. [1]

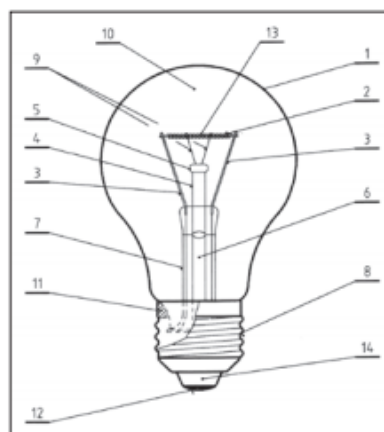
Vnitřní část přívodu se nejčastěji vyrábí z niklu nebo poniklovaného železa. [1]

Prostřední část se vyrábí z takzvaného plášťového drátu. Tento drát musí mít shodný činitel délkové roztažnosti s činitelem skleněného talířku. Tato shoda teplotních roztažností zajišťuje vakuově těsné spojení kovových a skleněných částí žárovky. Díky tomuto vakuovému spojení je možné v baňce udržet potřebné vakuum nebo inertní prostředí po celou dobu života. [1]

Vnější část přívodu je převážně zhotovena ze slitiny mědi a niklu o průměru 160 až 180  $\mu\text{m}$  a zajišťuje elektricky vodivý kontakt mezi patičkou a svítidlem. Přívody jsou k patičce buď připájeny klasickými pájkami ze slitiny olova a cínu nebo jsou spojeny ekologicky čistým svarem. Tato část přívodu tvoří také roli pojistky, která zareaguje při vzniku výboje zapříčiněného přerušáním wolframového vlákna v žárovkách plněných plynem. [2]

Při výrobě žárovky se z jejího vnitřního prostoru vyčerpá všechen plyn. Zbylý nežádoucí plyn je pohlcen pomocí látky zvané getr. Tato látka je obvykle nanášena na vlákno nebo konce přívodů. Jako náplň žárovek plněných plynem se používají inertní plyny krypton nebo argon. Přítomnost těchto inertních plynů snižuje rychlost vypařování wolframového vlákna, které zapříčiňuje černání baňky a zkracování životnosti žárovky. Tyto plyny se vždy používají s příměsí dusíku, který zabraňuje vzniku výbojů mezi závity vlákna. [1]

Klasická žárovka je nejčastěji opatřena závitovou patičkou E27, vyrobenou z galvanicky poniklované mosazi nebo hliníku. Ke spojení patice s baňkou se používá speciální tmel. [1]



Obrázek 2 - Konstrukce klasické žárovky [1]

1 – baňka, 2 - wolframové vlákno, 3 – přívody, 4 – tyčinka, 5 – čočka, 6 – čerpací trubička, 7 – talířek, 8 – patice, 9 - háčky, 10 – plynná náplň, 11 – tmel, 12 – pájka, 13 – getr, 14 - izolace patice

### 2.2.1.2 Výhody a nevýhody klasických žárovek

#### Výhody:

Mezi hlavní výhody klasických žárovek patří jednoduchá konstrukce, malé rozměry a hmotnost.

Jednoduchá konstrukce.

Okamžitý start bez blikání.

Nízká výrobní cena.

Stabilní svícení během celé životnosti.

Vysoký index podání barev  $R_a=100$ .

Vyzařovaný světelný tok není závislý na okolní teplotě.

Nevyskytují se v ní žádné látky, které by výrazně zatěžovali životní prostředí.

#### Nevýhody:

Naopak hlavní nevýhody klasických žárovek je jejich malý měrný světelný výkon, malá životnost a výrazná závislost na stabilitě napájení. Změna napětí o 1 % zapříčiní změnu měrného světelného výkonu o 3,6 %.

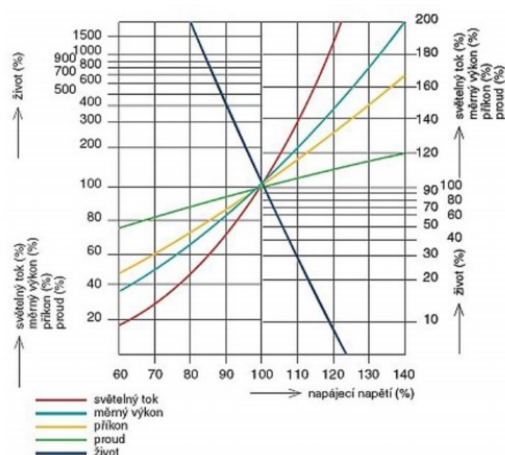
Další nevýhodou klasických žárovek je usazování odpařeného wolframu na vnitřní stěně baňky. Po jisté době používání díky tomu dochází k pomalému oslabování vlákna a černání baňky. Takto zčernalá baňka poté zapříčiní pokles intenzity světelného toku. Na konci životnosti se tento pokles může pohybovat okolo 20 %.

### 2.2.2 Základní světelné a elektrické parametry klasických žárovek

Tabulka 1 - Základní světelné a elektrické parametry klasických žárovek [1]

příkon žárovky (W)	15	25	40	60	75	100	150	200
světelný tok (lm)	90	230	430	730	960	1380	2220	3150
Měrný světelný tok (lm/W)	6	9,2	10,75	12,2	12,8	13,8	14,8	15,75

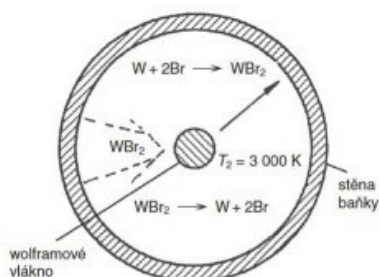
Měrný světelný výkon lze zvýšit zvýšením teploty vlákna, může teoreticky dosáhnout až kolem 50 lm/W (hodnota odpovídající teplotě tání wolframu). Při takovémto zvyšování provozních teplot vlákna dochází k rychlejšímu vypařování wolframu což výrazným způsobem zmenšuje životnost vlákna, a navíc také dochází k intenzivnějšímu černání vnitřní strany baňky, a tedy i k intenzivnějšímu poklesu světelného toku. [1]



Obrázek 3 - Závislost základních parametrů klasické žárovky na napájecím napětí [1]

### 2.2.3 Halogenová žárovka

Halogenové žárovky pracují na stejném principu jako klasické žárovky. Hlavní rozdíl oproti klasickým žárovkám je v tom, že jejich baňky mají menší průměr, větší provozní tlak a jsou naplněny plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Díky této náplni vzniká v baňce žárovky při svícení tzv. halogenový cyklus. Při tomto cyklu se vypařený wolfram (o teplotě dosahující 3000 K) slučuje s halogeny. K tomuto slučování dochází ve větší vzdálenosti od vlákna (u baňky) a při nižších teplotách (převyšující 1700 K). Vlivem tepelného pole se tato sloučenina vrací zpět na vlákno, kde se rozkládá vlivem vysoké teploty. Po rozložení se wolfram usazuje zpět na vlákno a uvolněný halogen se vrátí zpět k baňce. Cyklus se neustále opakuje. Výsledkem tohoto cyklu je dosažení lepších parametrů žárovky. Mezi ně patří delší životnost vlákna a čistá baňka, na kterou se během provozu neusazuje vypařený wolfram. Tento cyklus se bohužel nemůže opakovat do nekonečna. Při provozu se vypařený wolfram neusazuje na vlákno rovnoměrně. Usazuje se nejčastěji na nejchladnějších místech, kde je transportní reakci přenesen. Vlákno se poté na konci životnosti přepálí v nejtěsnějším místě (obdobně jako u klasické žárovky). Některé baňky mohou být pokryty selektivním filtrem, který vrací zpět na vlákno část infračerveného záření a zvyšuje tím měrný výkon až o 25 %. [1]



Obrázek 4 - Zjednodušené schéma wolfram-halogenového cyklu [1]

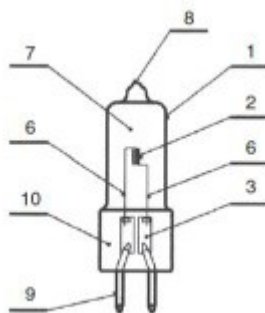
#### 2.2.3.1 Konstrukční provedení halogenové žárovky

Na první pohled viditelný rozdíl mezi klasickým a halogenovými žárovkami je velikost a tvar baňky. Baňky klasických žárovek se vyrábí nejčastěji z křemenného skla (nebo tvrzeného skla

u žárovek o menších příkonech). Křemenné sklo se vyrábí ze skloviny s vysokým obsahem oxidu křemičitého. Obchodní název tohoto materiálu je vycor. [1]

Jedná se o materiál s lepšími mechanickými a teplotními vlastnostmi než obyčejné sklo používané pro výrobu baňky klasické žárovky. Některé typy halogenových žárovek dosahují v určitých místech povrchové teploty baňky až 600°C. [1]

Stejně jako u klasické žárovky je zdrojem elektromagnetického záření tenké wolframové vlákno, umístěné uvnitř skleněné baňky, vinuté do jednoduché nebo dvojité šroubovice. Je potřeba použít vlákno se speciálními vlastnostmi pro použití v halogenových žárovkách. Konce vlákna jsou vodivě spojeny s přívodními kolíky pomocí tenké molybdenové fólie, jejichž použití je nezbytné z důvodu různých součinitelů délkové roztažnosti molybdenu a křemene. Mechanické spojení přívodu s vláknem je realizované pomocí stisku vacorové trubice. Tento stisk musí být vakuově těsný, aby udržel v baňce optimální pracovní prostředí po celou dobu její životnosti. Takto zatavená baňka se poté naplní pomocí čerpací trubičky inertními plyny (krypton, xenon nebo jejich směs) se sloučeninami obsahující halogen (např.  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{J}$  a další). Při výrobě žárovek se jmenovitým napětím vyšším než 12 V se do směsi plynů přidává i dusík, který zmenšuje pravděpodobnost vzniku výboje mezi závitů vlákna. Směs plynů se plní do baňky pomocí speciální technologie s použitím kapalného dusíku. Tlak v takto naplněné baňce ve vypnutém stavu se pohybuje v jednotkách barů a po zapnutí se vlivem oteplení ještě zvýší. Vysoký tlak plynné náplně uvnitř baňky snižuje rychlost vypařování vlákna, což je velmi pozitivně ovlivňuje životnost žárovky. [1]



Obrázek 5 - Konstrukce jednotiskové halogenové žárovky [1]

1 – baňka, 2 – wolframové vlákno, 3 – molybdenová folie, 6 – konečky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalek čerpací trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk



### 2.2.3.2 Výhody a nevýhody halogenových žárovek

#### **Výhody:**

Díky wolfram-halogenového cyklu tyto žárovky dosahují až dvakrát delšího životního cyklu a o 30 % většího světelného toku oproti klasickým žárovkám. Životnost výrazně neovlivňuje ani častější zapínání a vypínání.

Měrný světelný výkon halogenových žárovek může dosáhnout až 26 lm/W.

Další nespornou výhodou je to že baňka při provozu nečerná a je zdrojem stabilního světelného toku po celou dobu své životnosti.

#### **Nevýhody:**

Při použití baňky z křemenného skla místo obyčejného, žárovka vyzařuje také jistou část záření v ultrafialové části spektra, jelikož, křemenné sklo ultrafialové záření propouští. Tento problém vyřeší dotace oxidu ceričného nebo titaničitého do skla baňky nebo použití ochranného skleněného krytu z obyčejného skla, ve kterém je baňka umístěna (viz. Obr 31). Halogenové žárovky s paticí E27 se vyrábí téměř výhradně v provedení s UV filtrem. [1]

## 2.3 Výbojové světelné zdroje

Tyto světelné zdroje pracují na principu elektrických výbojů v prostředí, které obsahuje vhodné páry, plyny nebo jejich směsi. Nejčastěji jde o páry kovů (sodíku, rtuti) nebo halogenidů, společně se směsí inertních plynů. Při elektrickém výboji dojde k transformaci elektrické energie na kinetickou energii pohybujících se elektronů. Při průchodu elektronů výbojovým prostředím (hořákem) dochází ke srážkám s atomy plynů. Energie elektronů se při těchto srážkách přeměňuje na el. magnetické záření. Vyzařované spektrum je poté závislé na použitém materiálu a technologii výroby jednotlivých světelných zdrojů. [2]

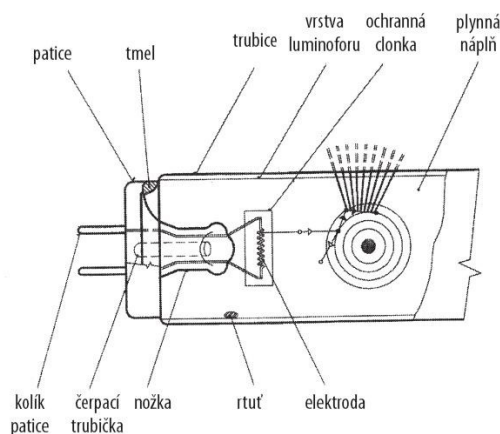
Všechny typy výbojových světelných zdrojů potřebují ke své funkci předřadník. Jedná se o zařízení, které má za úkol zapálení výboje a následné omezení proudu protékajícího obvodem na požadovanou hodnotu. V minulosti se používaly hlavně elektromagnetické (konvekční) předřadníky. V dnešní době jsou tyto předřadníky na ústupu a jsou vytlačovány předřadníky elektronickými, které pracují s několikanásobně vyšší frekvencí (25-150 kHz) než frekvence sítě. [1]

Výbojové světelné zdroje můžeme rozdělit do dvou základních kategorií podle tlaku ve výbojovém prostředí na nízkotlaké a vysokotlaké.

### 2.3.1 Zářivka

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky se žhavenými elektrodami, které většinu svého elektromagnetického záření vyzáří v ultrafialové oblasti (primárně na vlnové délce 253 nm). Toto ultrafialové záření se transformuje do viditelné oblasti spektra za pomoci směsi úzkopásmových luminoforů nanesených na vnitřní stranu trubice. Typy použitých luminoforů určují konečné vyzařované spektrum světelného zdroje.

Nejčastějším provedením těchto světelných zdrojů jsou lineární trubice.



Obrázek 6 - Konstrukce lineární zářivky [1]

### 2.3.2 Kompaktní zářivka

Jedná se o světelný zdroj pracující na principu nízkotlaké rtuťové výbojky, který byl navržen, tak aby svými geometrickými parametry, světelným tokem a kvalitou podání barev, byl podobný klasické žárovce. V porovnání s klasickými žárovkami se vyznačují podstatně větší měrným výkonem a delší životností. [1]

### 2.3.2.1 Konstrukce kompaktní zářivky s paticí E27

Hlavní částí kompaktní zářivky je výbojová trubice, která může nabývat mnoha tvarů od základních ve tvaru písmene U po šroubovice a další technologicky náročnějších tvarů. Může být zhotovená z olovnatého skla nebo bezolovnatého skla s příměsí ceru. Vnitřní strana trubice je potažená směsí luminoforů. Konce trubice jsou opatřeny wolframovými elektrodami potaženými emisní hmotou na bázi vápníku a uhličitanu barya. Trubice je naplněná inertními plyny (argon nebo směs argon, krypton) a nepatrným množstvím rtuti. [1]

Další nedílnou součástí kompaktní zářivky je integrovaný elektronický předřadník zabudovaný v plastovém krytu, který spojuje výbojovou trubici s paticí pro napájení. [1]

### 2.3.2.2 Výhody a nevýhody kompaktních zářivek

#### **Výhody:**

V porovnání s klasickou žárovkou mají zářivky vysokou účinnost přeměny elektrické energie na světelnou.

Svým světelným tokem, kvalitou podání barev a geometrickými parametry se blíží klasickým žárovkám.

Velmi vysoký index podání barev  $R_a$  přesahující hodnotu 80. Speciální typy zářivek mohou dosahovat až 90.

Na trhu jsou k dostání zářivky s velmi pestrou nabídkou bílých odstínů o různých náhradních teplotách chromatičnosti od 2700 po 6500 K. Výslednou náhradní teplotu chromatičnosti určuje kombinace použitých luminoforů.

Kompaktní zářivky dosahují velmi dlouhé životnosti. Může dosahovat až 20 000 hodin.

Díky použití elektronického předřadníku pracujícího s velmi vysokou frekvencí kompaktní zářivky dosahují velmi rychlého startu (do 1 s) a to bez blikání. Velmi vysoká frekvence také potlačí stroboskopický jev a zajistí stabilní chod bez míhání.

#### **Nevýhody:**

Časté zapínání a vypínání negativně ovlivňuje životnost.

Nižší vyzařovaný světelný tok oproti lineárním zářivkám o stejném příkonu z důvodu vzájemného stínění trubic.

Světelné parametry jsou závislé na teplotě okolního prostředí.

Součástí náplně je toxická rtuť.

Vyzařuje nespojitě spektrum.

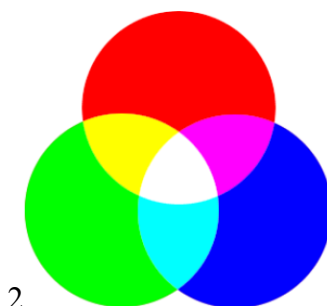
Horní hranice příkonu je omezená z důvodu možností nízkotlakého výboje.

## 2.4 Elektroluminiscenční světelné zdroje

Hlavním představitelem elektroluminiscenčních světelných zdrojů jsou světelné diody LED (Light Emitting Diode). Tyto diody pracují na principu vyzáření energie v podobě fotonů při rekombinaci elektronů z vybuzené vyšší energetické hladiny do základní energetické hladiny. Při tomto jevu dioda vyzařuje monochromatické elektromagnetické záření. Výsledné vyzařované spektrum je závislé na materiálu, ze kterého je PN přechod vyroben. [2]

Bílé světlo pomocí LED diod můžeme vyrobit dvěma způsoby a to:

Mísením monochromatických světelných diod – Při tomto způsobu bílé světlo vzniká mísením většího množství komplementárních vlnových délek z více druhů světelných diod najednou. (Na tomto principu pracuje model míchání barev RGB). Kvalita podání barev  $R_a$  výsledného světelného zdroje je přímo úměrná počtu použitých jednotlivých monochromatických složek.[2]

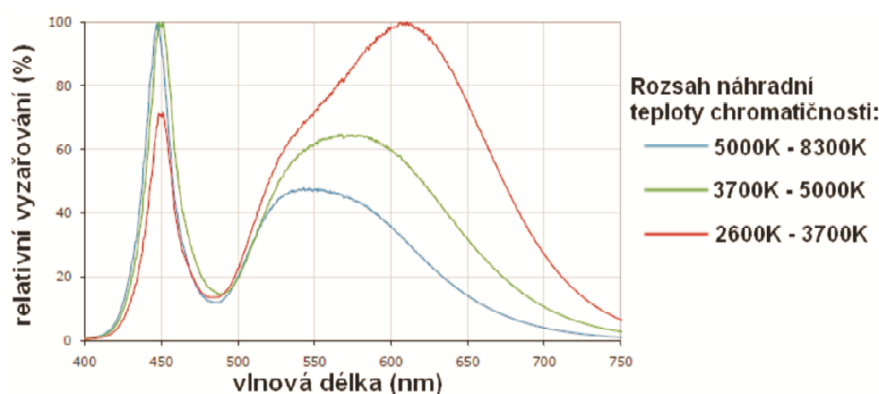


2

Obrázek 7 - Míchání barev RGB [17]

Konvekci vlnových délek – Pro tvorbu bílého se používá principu luminiscence.

Primárním zdrojem světelného záření je nejčastěji dioda typu LED na bázi GaInN/GaN, která vyzařuje modré záření v úzkém rozsahu vlnových délek. Většina tohoto záření je absorbována do konvektorového materiálu (např. na bázi fosforu nebo  $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ ), ze kterého je zpět vyzářena jako viditelné záření o větší vlnové délce. Jistá část záření, ale také projde v nezměněné podobě. Vzájemný poměr luminiscence (modrého světla) a fosforescence (žlutého světla) rozhoduje o konečné náhradní teplotě chromatičnosti, měrném výkonu a indexu podání barev světelného zdroje. Pro tvar spektra LED diod s fosforovým luminoforem lze dosáhnout teoretického měrného výkonu až okolo 320 lm/W. Předpokládány reálný měrný výkon po ukončení vývoje se bude pohybovat asi okolo 200-250 lm/W. V současné době nejlepší LED diody dosahují měrného světelného výkonu okolo 170 lm/W. [1]



Obrázek 8 - Typická spektra LED diod s fosforovým lumínoforem [2]

Tabulka 2 - Materiály pro výrobu jednotlivých barev LED [6]

Barva	Vlnová délka (nm)	Úbytek napětí ( $\Delta V$ )	Polovodičový materiál
Infračervená	$\lambda > 760$	1,6	AlGaAs, GaAs
Rudá	$610 > \lambda > 760$	1,8 – 2,1	GaAsP, AlGaAs, GaP
Oranžová	$590 > \lambda > 610$	2,2	GaP, GaAsP
Žlutá	$570 > \lambda > 590$	2,4	AlGaInP, GaP, GaAsP
Zelená	$500 > \lambda > 570$	2,6	InGaN/GaN
Modrá	$450 > \lambda > 500$	3,0-3,5	InGaN, ZnSe, SiC
Fialová	$400 > \lambda > 450$	3,0-3,5	InGaN
Ultrafialová	$\lambda < 400$	3,5	Diamant, NB, AlN, AlGaN

#### 2.4.1 Kompaktní LED světelný zdroj s Edisonovou patičí

Jedná se o světelný zdroj s LED technologií, který je koncipován pro použití ve svítidlech, jako náhrada klasická žárovky. Standartně se vyrábějí o různých příkonech většinou v jednotkách až desítkách wattů při stejném světelném toku a geometrických parametrech jako klasické žárovky.

#### 2.4.2 Konstrukce kompaktního LED světelného zdroje s patičí E27

Běžně dostupné kompaktní LED zdroje s Edisonovou patičí můžeme rozdělit do dvou základních skupin podle technologie výroby:

- s SMD technologií
- s vláknovou technologií

V prvním případě jsou zdrojem světla SMD LED diody napájené povrchovou montáží přímo na desku plošného spoje. Druhá strana desky je pokryta tepelně vodivým materiálem, který slouží k odvodu tepla do hliníkového chladiče umístěného okolo desky. Z důvodu bezpečnosti je chladič pokrytý vrstvou elektricky nevodivého materiálu, který v případě poruchy slouží jako ochrana před nebezpečným dotykem živých částí. Chladič také slouží ke spojení desky osazené LED diodami

s paticí pro našroubování do svítidla. Uvnitř chladiče je umístěn předřadník, který zajistí usměrnění napětí a následnou úpravu velikosti podle konkrétního typu zdroje. Nejčastěji se používá předřadník, který je zdrojem konstantního proudu pro zajištění stabilního světelného toku bez nepříjemného blikání a také zajistí delší životnost diod bez nutnosti neustálého zapínání a vypínání, které se negativně podepisuje na životnosti. Diody na vrchní straně desky jsou zakryté difuzorem, který chrání diody před poškozením a dotykem cizích částí. Difuzory také pomáhají lépe rozptýlit vyzařované světlo do prostoru. Mohou být čiré nebo mléčné. V některých případech může být světlo rozptýleno pomocí čírého skleněného krystalu (viz Obr. 9).



Obrázek 9 - Kompaktní LED zdroj s krystalickým difuzorem od firmy Philips [7]

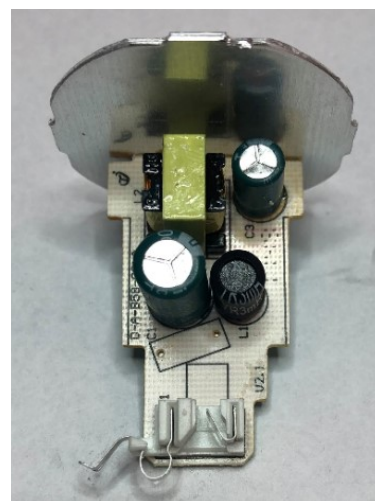
Na obrázcích 9 až 12 je ukázán rozebraný kompaktní SMD LED světelný zdroj od firmy EMOS.



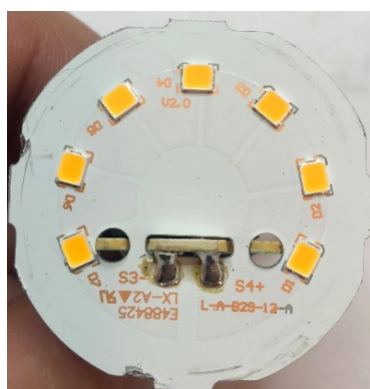
Obrázek 10 - Kompaktní LED zdroj od firmy EMOS bez difuzoru



Obrázek 11 - Chladič potažený izolačním materiálem

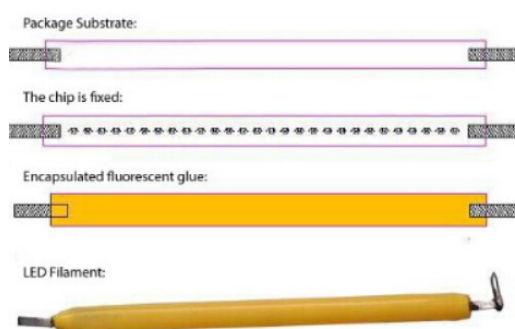


Obrázek 12 - Napájecí proudový zdroj s deskou osazenou LED diodami



Obrázek 13 - Deska osazená SMD LED diodami

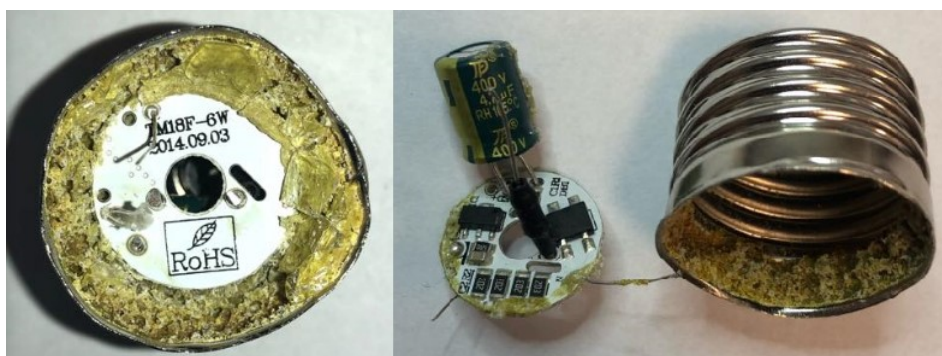
Druhým typem kompaktních LED zdrojů jsou tzv. „filament žárovky“. V tomto případě jsou zdrojem světla sériově zapojené LED diody umístěné na transparentním základu. Základ může být vyroben ze skla, keramiky nebo safírového materiálu. Celý tento transparent s diodami je potažen vrstvou fosforu se silikonovou pryskyřicí, která slouží jako luminofor. Materiál použitý pro výrobu základu výrazně ovlivňuje délku životnosti, měrný výkon a světelný tok. Důvodem je rozdílná schopnost chlazení diod. Čipy se skleněným základem (nejlevnější na trhu) se velmi špatně chladí a mají velmi krátkou životnost, proto se téměř nepoužívají. [8] Konstrukce vychází z klasické žárovky. Vlákná jsou vložena v baňce klasické žárovky, spojena do společných uzlů a rozložena po celém obvodu baňky. Toto rozložení zajistí, aby se vyzařované světlo rozptýlilo do všech stran. Předřadník pro napájení se nachází přímo v patici světelného zdroje.



Obrázek 14 - Konstrukce vlákna osazeného diodami [8]



Obrázek 15 - Kompaktní vláknový LED zdroj bez baňky



Obrázek 16 - Konstrukce integrovaného předřadníku umístěného v patici E27

Díky své konstrukci vycházející z klasické žárovky, se kompaktní vláknové LED zdroje staly také symbolem „Retra“. Na trhu se proto můžeme setkat se zdroji s baňkami různých tvarů a velikostí. Baňky také mohou být zabarvena pro odfiltrování krátkovlnné (modré) složky světla. Díky zabarvení baňky klesne náhradní teploty chromatičnosti, která může dosahovat hodnot až kolem 2000 K. Tyto zdroje se převážně nepoužívají jako primární zdroje pro vnitřní osvětlení, ale spíše jako dekorativní doplňky nebo osvětlení ložnic a pokojů před psaním.





Obrázek 17 - Kompaktní vláknové LED zdroje od firmy EMOS s náhradní teplotou chromatičnosti 2200 K [9]

### 2.4.3 Výhody a nevýhody kompaktních LED světelných zdrojů

#### Výhody:

Nejlepší měrný výkon ze všech předešlých světelných zdrojů s Edisonovou patičí.

Na trhu jsou dostupné světelné zdroje o různé náhradní teplotě chromatičnosti od 1800 do 8000 K. Výslednou hodnotu ovlivňuje množství naneseného luminoforu.

Velmi dlouhá životnost (až 30 000 h).

Vysoký počet spínacích cyklů (až 25 000).

Okamžitý start.

Při stejném světelném toku jako klasické žárovky mohou mít mnohem menší rozměry.

Materiály pro jejich výrobu snadno recyklovatelné a nevyskytují se v nich jedovaté a nebezpečné látky.

Při dotyku nehrozí riziko popálení.

Jsou k dostání i stmívatelné varianty.

Možnost zabudování pohybového senzoru, snímači okolního osvětlení nebo časovače přímo do těla světelného zdroje.

Nevyzařují téměř žádné ultrafialové ani infračervené záření.

**Nevýhody:**

Vyšší pořizovací cena v porovnání s ostatními světelnými zdroji

Velká teplotní závislost diody. Se zvyšující se teplotou klesá světelný tok a měrný výkon.

Zdroje o vyšších příkonech je nutno chladit.

Nižší index podání barev než žárovky, pohybující se okolo 80 až 90.

Nevyzařují rovnoměrně všemi směry, proto se nehodí do všech svítidel navržených původně pro klasické žárovky.

V základním provedení nejsou stmívatelné.

Nutnost předřadného obvodu.

Při vytváření bílého světla pomocí mísení více barevných diod dohromady (např. RGB) může výsledný index podání barev negativně ovlivnit nerovnoměrné stárnutí jednotlivých diod.

## **3 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA SVĚTELNÉ ZDROJE S PATICÍ E27**

### **3.1 Ekodesign**

Snaha o optimalizaci výrobků z hlediska vlivů na životní prostředí při zachování jejich současných funkčních vlastností.

Hlavní podstatou ekodesignu je snaha o zlepšení energetické bezpečnosti v zemích EU. Zvýšení energetické účinnosti elektrických zařízení je nákladově neefektivnější způsob ke zvýšení bezpečnosti zásobování energiemi a také snižuje závislost na jejich dovozu. Základním požadavkem ekodesignu je zachování či zlepšení stávajících vlastností výrobků. V žádném případě ekodesign nesmí ovlivnit výrobky ve smyslu omezení jejich funkčnosti pro konečného spotřebitele.

V roce 2009 byly stanoveny první konkrétní požadavky na ekodesign světelných zdrojů pro domácnost. V tomto roce Evropská komise stanovila podmínky formou nařízení. Nařízení komise (ES) č. 244/2009 ze dne 18. 03. 2009 uvádí požadavky na ekodesign nesměrových světelných zdrojů pro domácnost. [16]

Nařízení vstoupilo v platnosti 1. září 2009 a zabývá se postupným vyřazováním klasických a halogenových žárovek (s energetickou třídou nižší než C) z trhu. Čiré světelné zdroje byly z trhu dle nařízení vyřazovány postupně. Vyřazování začalo v září roku 2009 žárovkami o příkonu 100 W a silnější. V září 2010 pak následovaly 75 W žárovky, v září roku 2011 pak 60 W a poslední příkony následovaly v září 2012. Nařízení také od září 2009 ukončilo prodeje matných světelných zdrojů s energetickou třídou nižší než A. [16]

Ukončení prodeje halogenových žárovek bylo původně naplánováno na září 2016, ale následně bylo odloženo o 2 roky na září 2018. Hlavním důvodem odložení byla poměrně vysoká cena, nedostatečná kvalita a úroveň funkčnosti dostupných kompaktních LED zdrojů. Mluví se také o důvodech ekonomických, jelikož velká část halogenových žárovek se vyráběla v Evropě, zatím co LED zdroje se vyrábí hlavně v Číně. [16]

Výše uvedená legislativa nezakazuje přímo prodej žárovek, ale pouze stanovuje normy pro minimální účinnost světelných zdrojů. V uvedených datumech nedošlo k úplnému zákazu prodeje žárovek, ale pouze k zákazu výroby v zemích EU a také zákaz dovozu do zemí EU. Existující maloobchodní zásoby se mohou legálně doprodat. [16]

### **3.2 Patice a objímky**

Konstrukce patic a objímek s Edisonovými závity se řídí souborem norem ČSN EN 60061-4, ČSN EN IEC 60238 ed.5 a ČSN 0340-(1,2,3) – IEC 61-(1,2,3), které určují základní technické parametry pro konkrétní druhy patic. [11]

Norma ČSN EN 60061-4 se zabývá kalibry patic a objímek světelných zdrojů pro kontrolu zaměnitelnosti a bezpečnosti. Hlavní úvahou této normy je odolnost spojení proti dotyku živých částí. Prvním požadavkem této normy je ochrana proti pravděpodobnému dotyku živých částí. Pro splnění tohoto požadavku se předpokládá, že baňka světelného zdroje, která je zcela zašroubována, lícuje s lemem objímky. Pro tyto účely norma definuje tzv. první vymežovací čáru, mezi paticí a objímkou. Druhým požadavkem této normy je ochrana proti náhodnému dotyku jak v průběhu vkládání světelného zdroje, tak i po zašroubování světelného zdroje. Pro splnění druhého

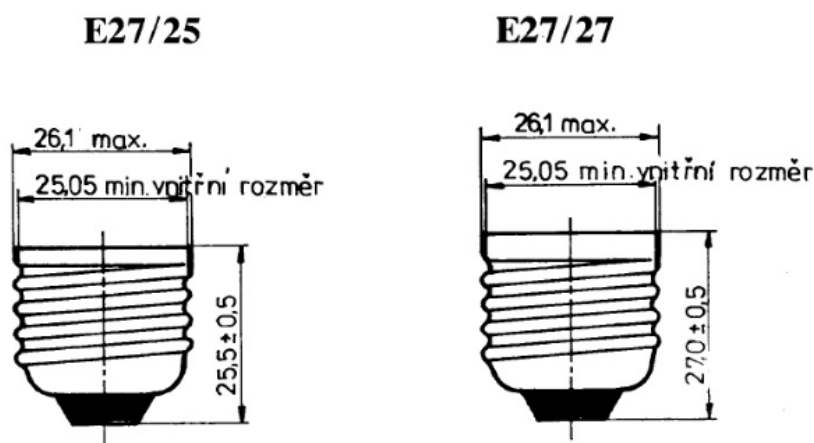
požadavku norma definuje tzv. druhou vymezovací čáru, která udává, jaké rozměry může mít v praxi nejdelší patice nejužší světelný zdroj. [13]

Norma ČSN EN IEC 60238 je zaměřena na objímky s Edisonovým závitem pro připojení světelných zdrojů a svítidlových adapterů k napájecí síti. Obsahuje všeobecné požadavky pro návrh a konstrukci objímky, definuje všeobecné podmínky zkoušek, uvádí normalizované jmenovité údaje pro konkrétní typy objímek, způsob třízení objímek a jejich značení. Dále jsou v normě uvedeny rozměry objímek (v souladu s posledním vydáním normy IEC 60061-2), ochrana před úrazem elektrickým proudem a další podstatné věci pro konstrukci a provoz objímek. [14]

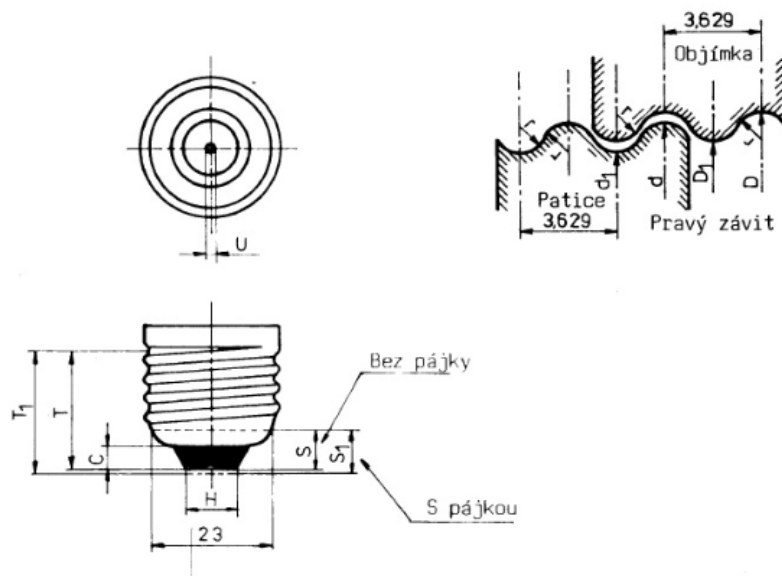
V normě ČSN 0340 – IEC 61 jsou shrnuté technické parametry, dnes používaných patic a objímek pro světelné zdroje a příbuzná zařízení. Cílem této normy je mezinárodní zaměnitelnost. Z důvodu rostoucího počtu obsažených údajových listů byla IEC 61 rozdělena do tří samostatných částí. V první část (IEC 61-1) jsou obsaženy údajové listy patic, v druhé části (IEC 61-2) jsou obsaženy údajové listy objímek a ve třetí části (IEC 61-3) jsou obsaženy údajové listy kalibrů. [14]

### 3.2.1 Konkrétní normativní požadavky na patici E27

Norma udává 2 základní rozměry patic E27, které mohou být použité ve světelných zdrojích.



Obrázek 18 - Základní typy závitové patice E27 [11]



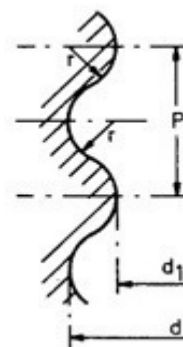
Obrázek 19 - Rozměry závitové patice E27 [11]

Tabulka 3 - Rozměry patice a objímky E27 [11]

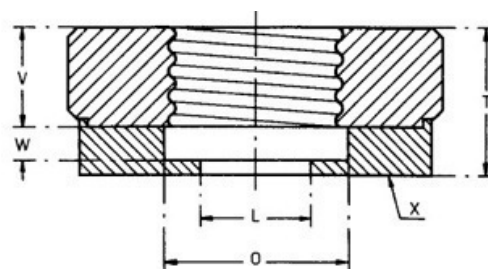
Rozměr		Nenamontovaná patice		Patice na hotových žárovkách	
		Min.	Max.	Min.	Max.
Patice	C	3,5	-	3,5	-
	H (1)	9,5	11,5	9,5	11,5
	S	7,0	7,8	-	-
	S <sub>1</sub>	-	-	7,0	8,5
	T (2)	22,0	-	-	-
	T <sub>1</sub> (3)	-	-	22,0	-
	U (5)	1,35	1,75	-	-
	d	26,05	26,38	26,05	26,45
	d <sub>1</sub>	-	24,19	-	24,26
	r (4)	1,025		1,025	
Objímka	D	26,55	-		
	D <sub>1</sub>	24,36	24,66		
	r (4)	1,025			

Tabulka 4 - Dobrý kalibr pro patice E27 na hotových zdrojích [11]

Označení	Rozměr	Tolerance	Mezní hodnota pro opotřebení
d	26,45	+0,03 -0,0	26,50
d <sub>1</sub>	24,26	+0,03 -0,0	24,31
L	16,5	+0,1 -0,1	-
O	28	+0,2 -0,2	-
P	3,629	-	-
r	1,025	-	-
T	22,0	+0,0 -0,03	-
V	15	+0,1 -0,1	-
W	5	+0,1 -0,1	-



Obrázek 20 - Detail závitu [11]



Obrázek 21 - Pravý závity [11]

Rozměry v tabulkách a obrázcích jsou uvedeny v milimetrech

### 3.2.2 Konkrétní normativní požadavky na objímku E27

*Objímky E27 musí být konstruovány tak, aby patice světelných zdrojů nebyly přístupné dotyku, pokud se po dobu vkládání staly živými částmi.* [14]

Normativní požadavky na standartní objímku E27:

- jmenovité napětí 250 a 500 V (250 V pro objímku se spínačem)
- jmenovitý proud 4 A (2 A pro objímku se spínačem)
- jmenovitá teplota objímky 165 °C
- krouticí moment potřebný pro zašroubování  $1,5 \pm 0,1$  Nm
- minimální krouticí moment pro vyšroubování 0,5 Nm
- maximální krouticí moment pro vyšroubování 2,0 Nm
- jmenovité impulsní napětí 4kV (2,5 kV pro objímky se jmen. napětím 250 V). [14]

### 3.3 Normativní požadavky na světelné zdroje s integrovaným předřadníkem

Požadavky na bezpečnost kompaktních zářivek a dalších výbojek s integrovaným předřadníkem jsou shrnuty v normě ČSN EN 60698 ed.2 [3].

Požadavky na provedení a bezpečnost LED světelných zdrojů s integrovaným předřadníkem na napětí větší než 50 V jsou shrnuty v normách ČSN EN 62612 a ČSN EN 62560. [4], [5].

## 4 TEORIE MĚŘENÍ SVĚTELNĚ-TECHNICKÝCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

### 4.1 Světelný tok

Světelný tok  $\phi$  je fotometrická veličina, která představuje celkové množství vyzářeného zářivého toku  $\phi_e$  posuzovaného z hlediska citlivosti lidského oka. Velikost světelného toku se udává v lumenech (lm). [2]

V případě monochromatického záření o vlnové délce  $\lambda$ , se světelný tok  $\Phi$  vypočítat dle vztahu:

$$\phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) \quad (\text{lm; lm/W, -, W}) \quad (1)$$

Hodnota  $K(\lambda)$  je světelný účinek monochromatického záření a udává poměr světelného toku a odpovídajícího zářivého toku. Hodnotu  $K(\lambda)$  lze vyjádřit součinem maximální hodnoty  $K_m$  a poměrné účinnosti monochromatického záření  $V(\lambda)$ . [1]

$$K(\lambda) = K_m V(\lambda) \quad (\text{lm/W; lm/W, -, -}) \quad (2)$$

V případě světelného toku  $\Phi$  složeného z většího počtu monochromatických záření lze celkový světelný tok vypočítat dle vztahu: [1]

$$\phi = 683 \int_0^\infty \left( \frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_\lambda V(\lambda) d\lambda \quad (\text{lm; lm/W, W/m}^2, \text{m}) \quad (3)$$

Výpočet lze zjednodušit rozdělením viditelné části spektra na  $n$  dostatečně malých úseků  $\Delta\lambda$ . [1]

$$\phi = K_m \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta\phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) V(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (\text{lm; lm/W, W/m}^1, \text{-, m}) \quad (4)$$

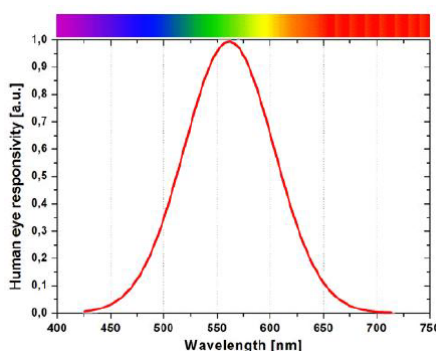


## 4.2 Měrný světelný výkon

Měrný výkon  $\eta_p$  udává, s jakou účinností světelný zdroj přeměňuje elektrickou energii na světelnou. Je dán podílem světelného toku a elektrického příkonu. Výsledná jednotka se uvádí v  $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$  a stanovuje hodnotu světelného toku získaného z jednoho wattu. U světelných zdrojů s předřadníkem nebo spínaným zdrojem je nutné definovat celkový měrný příkon, který je roven měrnému výkonu světelného zdroje zvětšený o výkon spotřebovaný předřadníkem. [2]

$$\eta_p = \frac{\Phi}{P} \quad (-; \text{lm}, \text{W}) \quad (5)$$

Maximální hodnotu měrného výkonu ( $683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ) můžeme získat při monochromatickém vyzařování na vlnové délce 555 nm. Tato hodnota vychází z křivky spektrální citlivosti lidského oka. [2]



Obrázek 22 - *Spektrální citlivost lidského oka* [15]

## 4.3 Index podání barev

Index podání barev  $R_a$  vyjadřuje stupeň shodnosti vnímaného vjemu barev pod umělým zdrojem osvětlení v porovnání se smluvně stanoveným teplotním zdrojem (např. slunce nebo žárovka). Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která může nabývat hodnot 0 až 100. Při hodnotě  $R_a = 0$  je nemožné rozlišovat barvy pozorovaných předmětů. Tohoto indexu podání barev dosahují nízkotlaké sodíkové výbojky a jednobarevné světelné diody. Naopak při hodnotě  $R_a = 100$  jsme schopni vnímat pozorované barvy přirozeně, jako pod slunečním světlem. Této hodnoty dosahují pouze teplotní světelné zdroje. [2]

Výsledná hodnota indexu podání barev je vyjádřena pomocí metody hodnocení číselného rozdílu jednotlivých barevných vzorků při osvětlení zkoumaným a smluvně určeným zdrojem. [1]

## 4.4 Náhradní teplota chromatičnosti

Náhradní teplota chromatičnosti  $T_c$  se používá k popisu barevných vlastností světla. Její hodnota se udává v kelvinech (K) a je závislá na spektrálním složení konkrétního světelného zdroje. Hodnoty náhradní teploty chromatičnosti vychází ze skutečných teplot rozžhaveného, absolutně černého tělesa, jehož záření má stejnou chromatičnost jako zkoumané záření. [2]

Tabulka 5 - Teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých světelných zdrojů [2]

Druh světelného zdroje	$T_c$ (K)
Plamen svíčky	1800
Žárovka, zářivka, světelná dioda teplá bílá	2700
Slunce při západu	3500-4000
Zářivka, světelná dioda studená bílá	4000
Slunce v létě v poledne	5500
Jasná obloha	6500
Zářivka, světelná dioda denní světlo	5400
Zářivka, světelná dioda studené denní světlo	6500 a více

Pro osvětlování vnitřních prostor se používají nejčastěji světelné zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti od 2200 do 6500 K.

Tabulka 6 - Rozdělení barvy světla podle náhradní teploty chromatičnosti

Barva	Náhradní teplota chromatičnosti (K)	Popis	Použití
Teplá bílá (warm white)	1800-3300	Tato barva je typická svým žlutým nádechem. V praxi je nejvěrohodnější náhradou světla klasických žárovek.	Ložnice, obývací a dětské pokoje, v domácnostech
Neutrální bílá (natural white)	3300-5000	Barva připomínající denní světlo. Někdy též označována jako denní bílá.	Společné prostory, kuchyně, obchody, pracovní
Studená bílá (cool white)	5000-9000	Studená barva světla lehce namodralá.	Výrobní haly, sklady, venkovní prostory

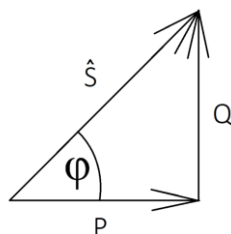
## 4.5 Standartní odchylka při srovnávání barevnosti

Standartní odchylka při srovnávání barevnosti SDCM určuje stupeň odchylky náhradní teploty chromatičnosti  $T_c$  světelných zdrojů od cílové hodnoty. Je založena na principu MacAdamsových elips o různých velikostech. Výsledný stupeň SDCM určuje odchylku náhradní teploty chromatičnosti  $T_c$  od požadované hodnoty. Čím nižší stupeň SDCM, tím nižší odchylka  $T_c$  od požadované hodnoty a tím pádem menší pravděpodobnost, že pozorovatel uvidí barevný rozdíl v jednotlivých zdrojích světla.

## 4.6 Účíník

Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která je dána poměrem činného a zdánlivého výkonu. Označuje se  $\cos \varphi$ .

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (-; W, VA) \quad (6)$$



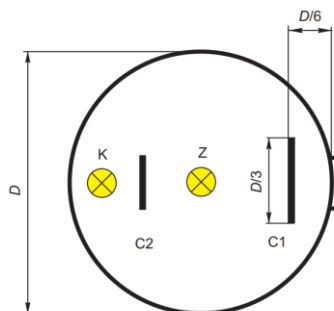
Obrázek 23 – Grafické znázornění účíníku

## 4.7 Měření světelného toku

Světelný tok lze stanovit dvěma různými způsoby. První způsob je založen na graficko-početní metodě z naměřených křivek svítivosti. [1]

Druhý způsob je přímé měření světelného toku v integrátoru.

Tvar integrátoru může být různý (např. kvádr nebo krychle), ale nejčastějším tvarem integrátoru je koule. Jedná se o dutou kouli (viz Obr. 24) s vnitřním povrchem potaženým bílým rozptylovým nátěrem. Nátěr by měl být barevně neselektivní a měl by mít také vysoký činitel obrazu v mezích 0,75 až 0,85. Světelný zdroj je umístěn přibližně ve středu koule. Po jeho rozsvícení dojde k mnohonásobným odrazům světla po celém vnitřním povrchu koule. Výsledná osvětlenost ve všech bodech vnitřního povrchu koule by měla být teoreticky stejná. Osvětlenost se měří za pomoci fotočlánku umístěného uvnitř okénka **F** v plášti koule. Fotočlánek je zastíněn clonou **C1**, která brání před dopadem přímého záření ze zdroje. V případě měření světelného toku celého svítidla nebo světelného zdroje s většími nosnými částmi se uvnitř koule může nacházet také pomocný korekční světelný zdroj **K** a clona **C2**. Clona **C2** slouží k ostínění výstupního okénka s fotočlánkem a měřeného světelného zdroje od přímého záření z korekčního zdroje. Světelný tok korekční žárovky **K** by měl být po celou dobu měření konstantní a jeho velikost by se neměla nějak příliš lišit od velikosti světelného toku měřeného zdroje. [1]



Obrázek 24 - Náčrt uspořádání integračního kulového fotometru [1]

Pokud dopadá na vnitřní povrch integrační koule ze zdroje  $Z$  světelný tok  $\phi_z$  a má-li rovnoměrně rozptýlně odražející povrch integrační koule ideální činitel odrazu  $\rho$ , je výsledná odražená složka světelného toku  $\phi$ , dopadajícího na vnitřní povrch integrační koule rovna: [1]

$$\phi = \rho \phi_z + \rho^2 \phi_z + \rho^3 \phi_z + \dots \rho^n \phi_z = \frac{\rho}{1-\rho} \phi_z \quad (7)$$

Díky nátěru s vysokou odrazností naneseného na vnitřním povrchu integrátoru dojde k rovnoměrnému rozložení osvětlení po celém povrchu integrátoru. Intenzita osvětlení  $E$  v místě okénka se skládá pouze z odraženého světelného toku a lze vypočítat dle vztahu: [1]

$$E = \frac{\phi}{\pi D^2} = \frac{\rho}{\pi D^2(1-\rho)} \phi_z = k_i \cdot \phi_z \quad (\text{lx; lm, m; -, m, lm; lx/lm, lm}) \quad (8)$$

$k_i$  je integrační konstanta fotometru a je dána vztahem:

$$k_i = \frac{\rho}{\pi D^2(1-\rho)} \quad (\text{lx/lm; m, -}) \quad (9)$$

Výsledný světelný tok zdroje  $\phi_z$  je přímo úměrný hodnotě osvětlenosti  $E$ , indikované pomocí fotočlánku. [1]

## 4.8 Měření čar svítivosti

Čáry svítivosti světelných zdrojů nebo svítidel se používají pro světelně-technické výpočty osvětlovacích soustav. Určují velikost světelného toku  $\phi$  vyzařovaného do určitého orientovaného prostorového úhlu  $\Omega$ . [1]

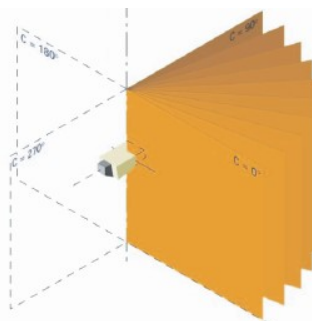
$$I = \frac{\phi}{\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (10)$$

Pro měření čar svítivosti můžeme použít fotometrickou lavici nebo přístroje zvané goniofotometry. Principem měření je postupné zjišťování svítivosti světelných zdrojů nebo svítidel v různých rovinách a pod určitými úhly.

Základní konstrukční uspořádání goniofotometru:

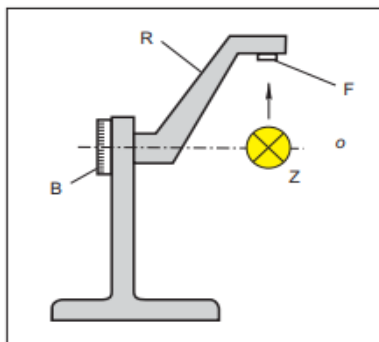
- otočný zdroj a pevný fotometr;
- pevný zdroj otočný fotometr;
- pevný zdroj a pevný fotometr s otočným zrcadlovým systémem.

Nejčastěji používaná soustava měřících rovin se jmenuje C- $\gamma$ . [1]



Obrázek 25 - Soustava měřících rovin C- $\gamma$  [2]

Všechny typy goniofotometru musí být konstruovány tak, aby při rotaci nedocházelo k nežádoucím otřesům nebo deformacím pohyblivých částí, které by zaváděly případné chyby do výsledku měření. Pro nezkreslené výsledky měření je nutno zajistit, aby osa rovin byla ve středu optické části světelného zdroje nebo svítidla. [1]



Obrázek 27 - Náčrt konstrukce goniofotometru s otočným ramenem [1]

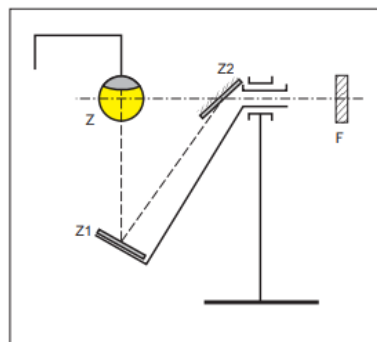
R – rameno

F – fotočlánek

Z – zkoušený světelný zdroj (svítidlo)

o – osa rotace ramena

B – budík pro nastavení úhlu



Obrázek 26 - Náčrt konstrukce goniofotometru s otočnou zrcadlovou soustavou a pevným fotočlánekem [1]

R - rameno

F - fotočlánek

Z – zkoušený světelný zdroj (svítidlo)

Z1,Z2 – zrcadlo

## 5 MĚŘENÍ KŘIVEK SVÍTIVOSTI, SPEKTRÁLNÍHO VYZAŘOVÁNÍ A ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ S PATICÍ E27

Praktická část této práce byla zaměřena na měření křivek svítivosti, spektrálního vyzařování a elektrických parametrů světelných zdrojů s paticí E27 používaných pro osvětlení interiérů. Všechny testované světelné zdroje jsou konstruovány pro použití ve svítidlech vyvinutých pro klasickou žárovku.

### 5.1 Seznam měřených světelných zdrojů

Tabulka 7 - Seznam měřených světelných zdrojů

Číslo	Název světelného zdroje	Základní údaje udávané na obalu			
		Příkon (W)	Teplota chromatičnosti (K)	Světelný tok (lm)	Výrobce/Prodejce
1	Klasická žárovka	60	2700	-	OSRAM
2	Halogenová žárovka	42	2700	630	EMOS
3	Kompaktní zářivka	12	2700	680	EMOS
4	Kompaktní vláknový LED zdroj	6	2700	806	EMOS
5	Kompaktní LED zdroj	9	2700	806	EMOS
6	Kompaktní LED zdroj	9	4100	806	EMOS
7	Kompaktní LED zdroj	9	6500	806	EMOS

Měření probíhalo ve světelné laboratoři společnosti EMOS spol s.r.o. v Přerově. Pro měření byla použita měřicí sestava od výrobce EVERFINE.

#### Postup měření:

První část byla zaměřena na měření spektrálních charakteristik, křivek svítivosti, světelně-technických a elektrických parametrů různých typů světelných zdrojů v ustáleném stavu. Naměřené hodnoty byly pořízeny po hodině provozu. Křivky svítivosti byly měřeny v soustavě rovin C- $\gamma$  při rozsahu C=15°,  $\gamma$ =1°.

Druhá část byla zaměřena na měření příkonu a světelného toku různých typů světelných zdrojů v závislosti na čase. Měření bylo složeno z 60 diskrétních hodnot naměřených pomocí integrační koule EVERFINE. První měření bylo pořízeno v první minutě po zapnutí světelného zdroje, další měření následovaly v minutových intervalech. Výsledné hodnoty byly vyneseny do grafu.

Kompletní výsledky z obou měření jsou vloženy v příloze.

## **Technické specifikace použitých měřicích přístrojů:**

### **Integrační koule:**

Ocelová integrační koule o průměru 2m typ SIS-5\_2.0 m, EVERFINE

Kalibrační žárovka D204, Certifikát: 130700015 (parametry: 3,948 A, 20,88 V, 2856 K, 1350 lm)

DC zdroj WY305,, Certifikát: 130814603, EVERFINE

AC zdroj DSP1060 Certifikát: 130814287, EVERFINE

Wattmetr PF2010, Certifikát: 130610809, EVERFINE

Spektrofotometr HAAS-3000, Certifikát: 130853260, EVERFINE



Obrázek 28 - Ilustrační foto integrační koule [16]

### **Goniofotometr:**

Otočné rameno GO-2000B, Certifikát: PS170788627

Kalibrační žárovka (parametry 28 V, 10 A, 500 cd), Certifikát: C201708160101, NVLAP

Foto detektor ID-1000, Certifikát: MM170682555, EVERFINE

Ovládání otočného ramene CT400, Certifikát: PS170788720, EVERFINE

Wattmetr PF310, Certifikát: GD170201471, EVERFINE

DC zdroj WY3010, Certifikát: GD170201611, EVERFINE

AC zdroj DPS1000, Certifikát: PS170804177, EVERFINE

### **Software pro spojení s počítačem:**

HaasSuite\_V2, EVERFINE

## 5.2 Klasická žárovka OSRAM



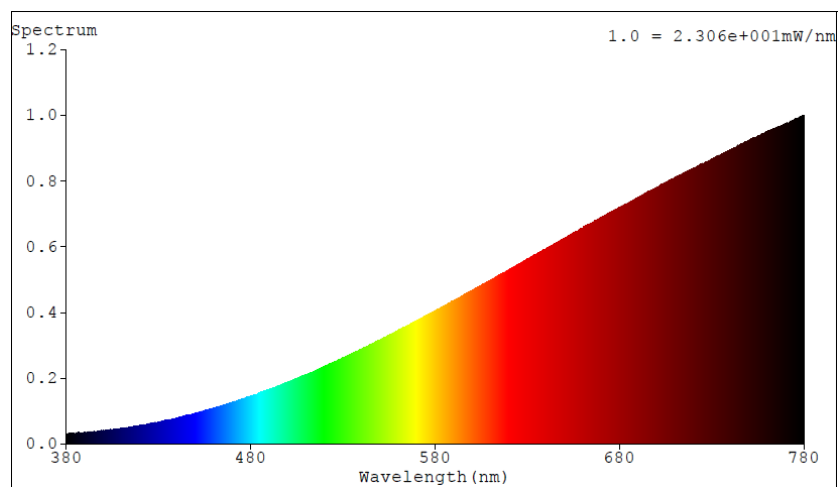
Obrázek 29 - Klasická žárovka od firmy OSRAM

Tabulka 2 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry klasické žárovky OSRAM

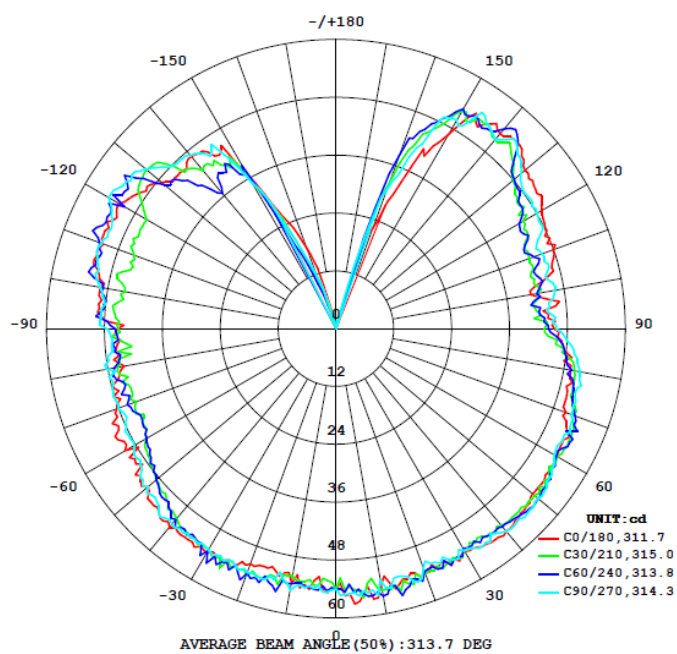
Žárovka OSRAM classic A 60 W			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	60	Příkon (W)	58,78
Náhradní teplota chrom. (K)	2700	Náhradní teplota chrom. (K)	2641
Světelný tok (lm)	700	Světelný tok (lm)	593,1
Index podání barev (-)	100	Index podání barev (-)	99,6
Měrný výkon (lm/W)	11,7	Měrný výkon (lm/W)	10,1
Účinnost (-)	1	Účinnost (-)	0,99
Startovací doba (s)	0	Napětí (V)	230
Životnost (h)	1000	Proud (A)	0,2556
Patice	E27	SMDC	3,8
Typ baňky	A55		
Průměr (mm)	55		
Délka (mm)	94		
Energetická třída	E		



### 5.2.1 Měření světelných parametrů klasické žárovky



Obrázek 30 - Spektrální charakteristika klasické žárovky



Obrázek 31 - Křivky svítivosti klasické žárovky

### 5.3 Halogenová žárovka EMOS

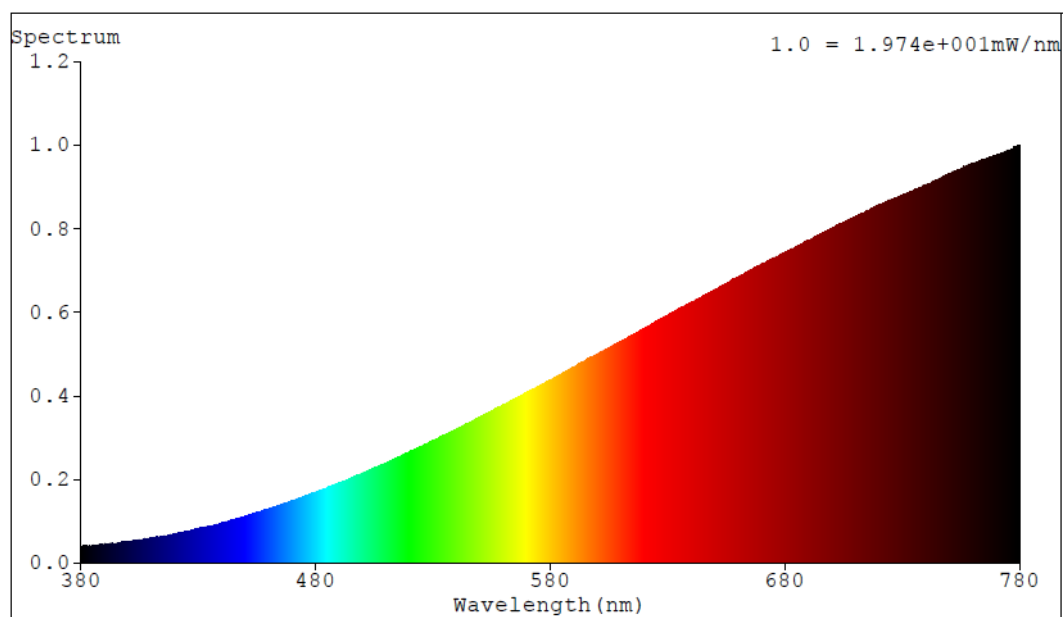


Obrázek 32 - Halogenová žárovka od firmy EMOS [9]

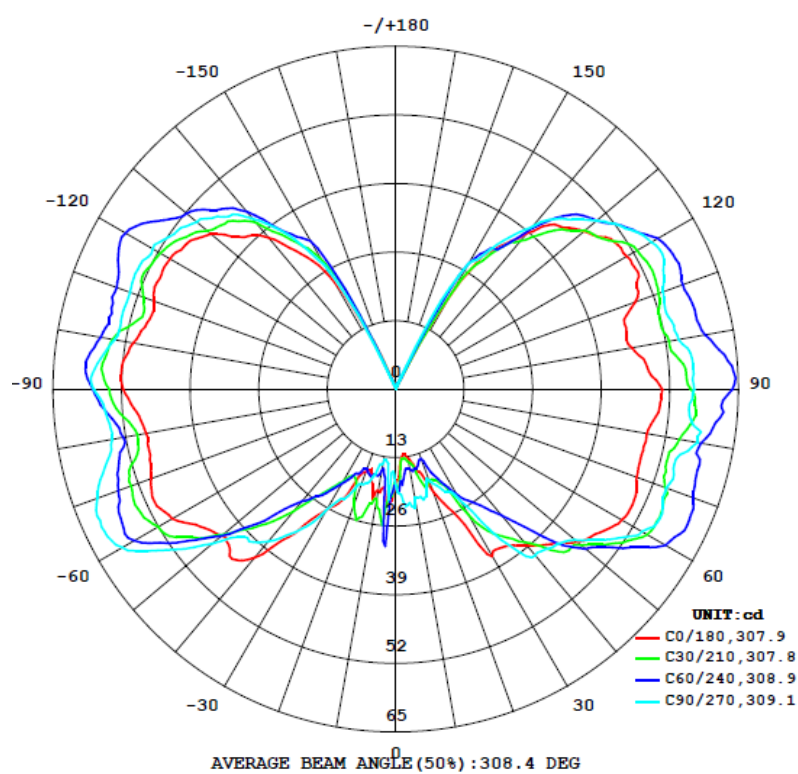
Tabulka 8 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry halogenové žárovky EMOS

Halogenová žárovka EMOS ECO 42 W			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	42	Příkon (W)	44,44
Náhradní teplota chrom. (K)	2 700	Náhradní teplota chrom. (K)	2740
Světelný tok (lm)	630	Světelný tok (lm)	553,8
Index podání barev (-)	R <sub>a</sub> <95	Index podání barev (-)	99,7
Měrný výkon (lm/W)	15	Měrný výkon (lm/W)	12,45
Účinnost (-)	1	Účinnost (-)	0,99
Startovací doba (s)	0	Napětí (V)	230,1
Životnost (h)	2 000	Proud (mA)	193
Patice	E27	SMDC	1
Typ baňky	A55		
Průměr (mm)	59		
Délka (mm)	108		
Energetická třída	C		

### 5.3.1 Měření světelných parametrů halogenové žárovky



Obrázek 33 - Sáppektrální charakteristika halogenové žárovky



Obrázek 34 - Křivky svítivosti halogenové žárovky

## 5.4 Kompaktní zářivka EMOS

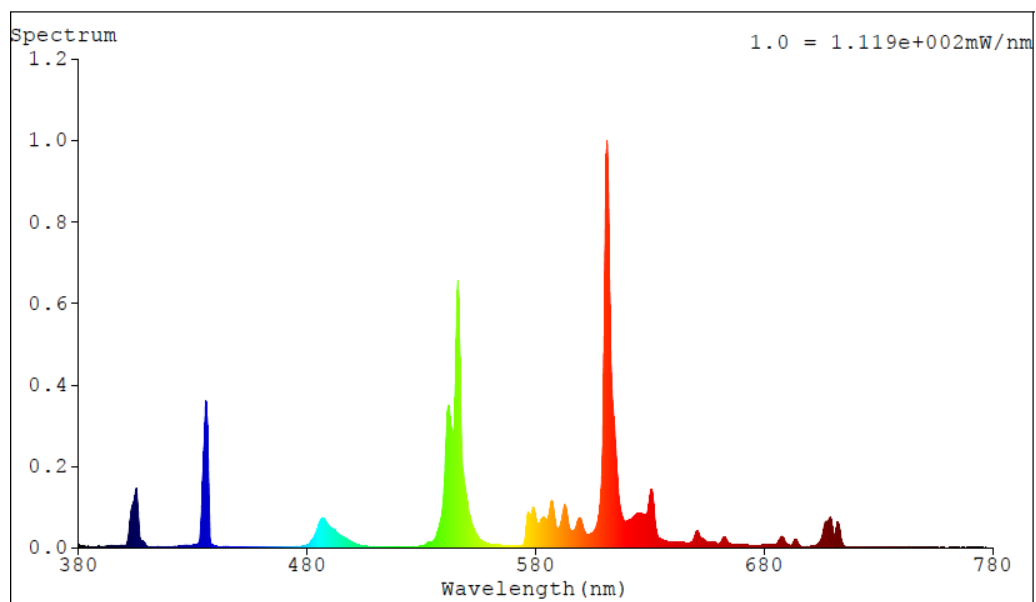


Obrázek 35 - Kompaktní zářivka od firmy EMOS [9]

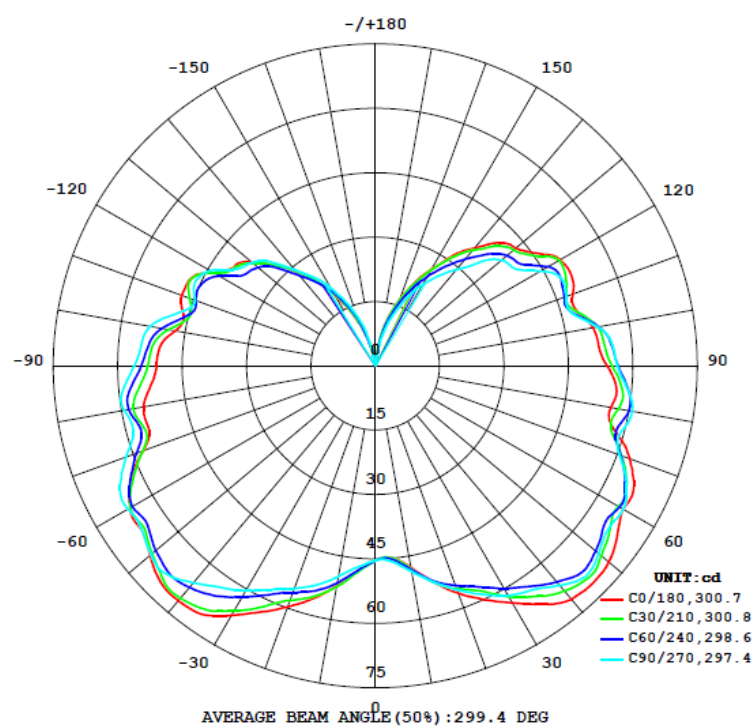
Tabulka 9 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktní zářivky EMOS

Kompaktní zářivka EMOS Full spiral 12 W			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	12	Příkon (W)	10,8
Náhradní teplota chrom. (K)	2 700	Náhradní teplota chrom. (K)	2738
Světelný tok (lm)	680	Světelný tok (lm)	622,75
Index podání barev (-)	R <sub>a</sub> >80	Index podání barev (-)	81,8
Měrný výkon (lm/W)	56,7	Měrný výkon (lm/W)	57,5
Účinnost (-)	0,6	Účinnost (-)	0,56
Startovací doba (s)	0,1	Napětí (V)	230,1
Životnost (h)	10 000	Proud (mA)	84,6
Patice	E14	SMDC	0,8
Typ trubice	Full spiral		
Průměr (mm)	40		
Délka (mm)	108		
Energetická třída	A		

### 5.4.1 Měření světelných parametrů kompaktní zářivky



Obrázek 36 - Spektrální charakteristika kompaktní zářivky



Obrázek 37 - Křivky svítivosti kompaktní zářivky

## 5.5 Kompaktní vláknový LED světelný zdroj EMOS

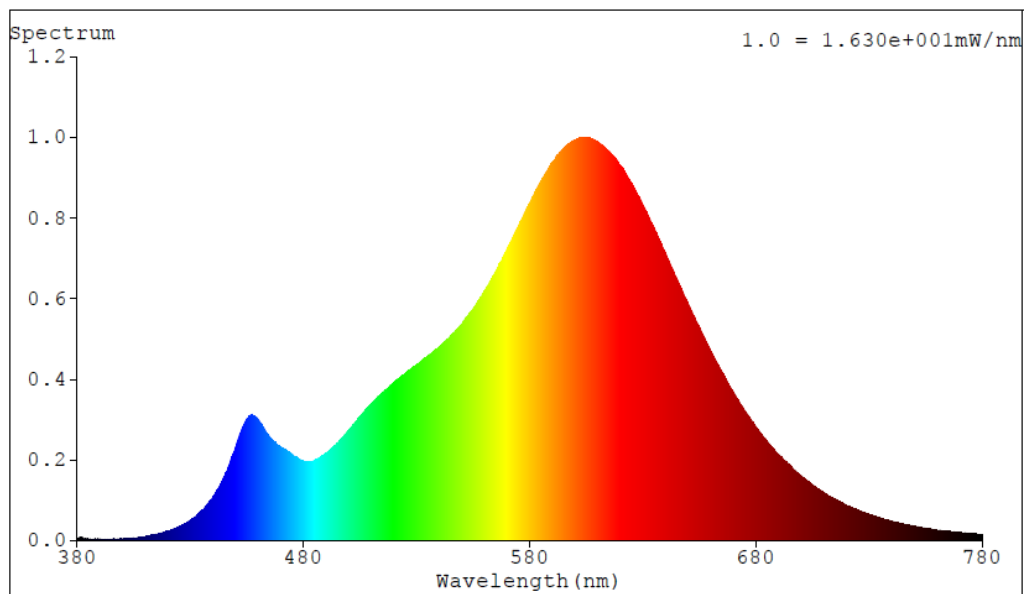


Obrázek 38 - Kompaktní vláknový LED světelný zdroj od firmy EMOS [9]

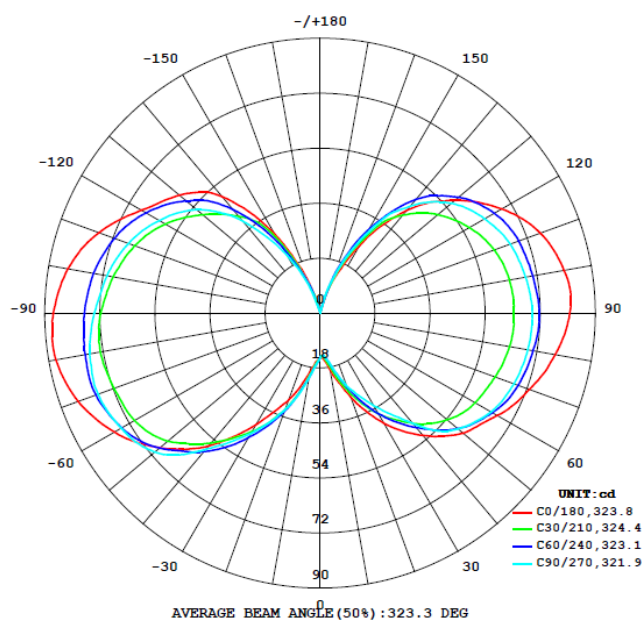
Tabulka 10 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního vláknového LED světelného zdroje

Kompaktní vláknový LED zdroj EMOS 6 W			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	6	Příkon (W)	6,5
Náhradní teplota chrom. (K)	2 700	Náhradní teplota chrom. (K)	2734
Světelný tok (lm)	806	Světelný tok (lm)	746,5
Index podání barev (-)	R <sub>a</sub> >80	Index podání barev (-)	81,1
Měrný výkon (lm/W)	134	Měrný výkon (lm/W)	114,8
Účinnost (-)	0,5	Účinnost (-)	0,51
Startovací doba (s)	0,1	Napětí (V)	230,1
Životnost (h)	25 000	Proud (mA)	55,3
Počet spínacích cyklů (-)	15 000	SMDC	1,1
Patice	E27		
Typ baňky	A60		
Průměr (mm)	60		
Délka (mm)	110		
Energetická třída	A++		

### 5.5.1 Měření světelných parametrů kompaktní zářivky



Obrázek 39 - Spektrální charakteristika kompaktního vláknového LED světelného zdroje



Obrázek 40 - Křivky svítivosti kompaktního vláknového LED světelného zdroje

## 5.6 Kompaktní SMD LED světelné zdroje EMOS



Obrázek 41 - kompaktní SMD LED světelný zdroj od firmy EMOS [9]

### 5.6.1 Kompaktní SMD LED světelný zdroj 2700 K

Tabulka 11 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního SMD LED světelného zdroje 2700 K

Kompaktní SMD LED zdroj EMOS 9 W 2700 K			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	9	Příkon (W)	9,14
Náhradní teplota chrom. (K)	2 700	Náhradní teplota chrom. (K)	2773
Světelný tok (lm)	806	Světelný tok (lm)	694
Index podání barev (-)	R <sub>a</sub> >80	Index podání barev (-)	82
Měrný výkon (lm/W)	90	Měrný výkon (lm/W)	75,9
Účinnost (-)	0,5	Účinnost (-)	0,56
Startovací doba (s)	0,1	Napětí (V)	230,1
Životnost (h)	30 000	Proud (mA)	71,4
Počet spínacích cyklů (-)	25 000	SMDC	1,7
Patice	E27		
Typ baňky	A60		
Průměr (mm)	60		
Délka (mm)	110		
Energetická třída	A+		

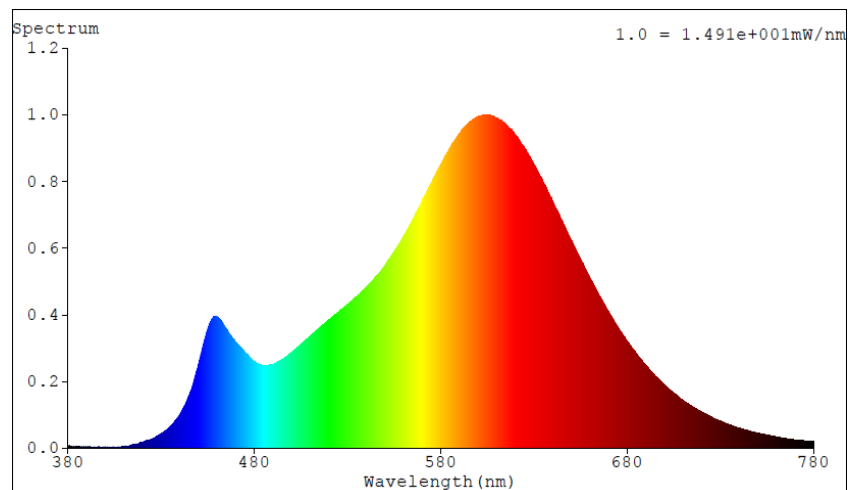


Tabulka 12 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního SMD LED světelného zdroje 4100 K

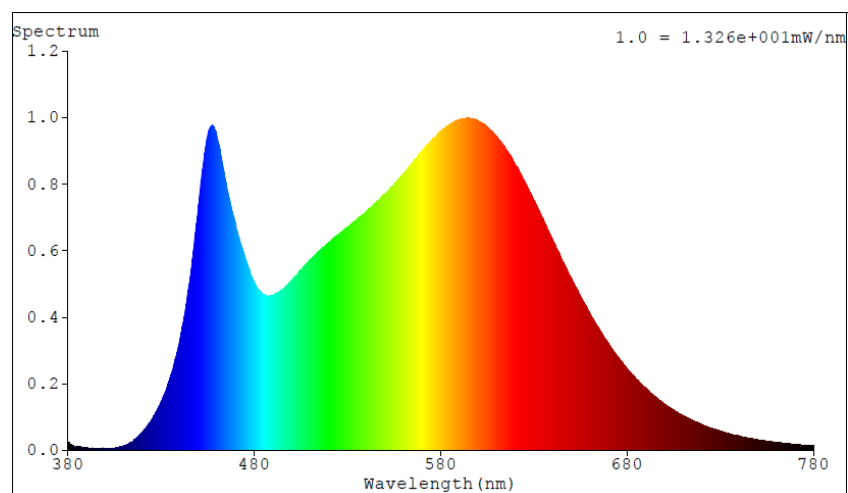
<b>Kompaktní SMD LED zdroj EMOS 9 W 4100 K</b>			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	9	Příkon (W)	9,4
Náhradní teplota chrom. (K)	4100	Náhradní teplota chrom. (K)	4062
Světelný tok (lm)	806	Světelný tok (lm)	757
Index podání barev (-)	R <sub>a</sub> >80	Index podání barev (-)	84,9
Měrný výkon (lm/W)	90	Měrný výkon (lm/W)	80,58
Účinnost (-)	0,5	Účinnost (-)	0,56
Startovací doba (s)	0,1	Napětí (V)	230,0
Životnost (h)	30 000	Proud (mA)	73,3
Počet spínacích cyklů (-)	25 000	SMDC	2,1
Patice	E27		
Typ baňky	A60		
Průměr (mm)	60		
Délka (mm)	110		
Energetická třída	A+		

Tabulka 13 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního SMD LED světelného zdroje 6500 K

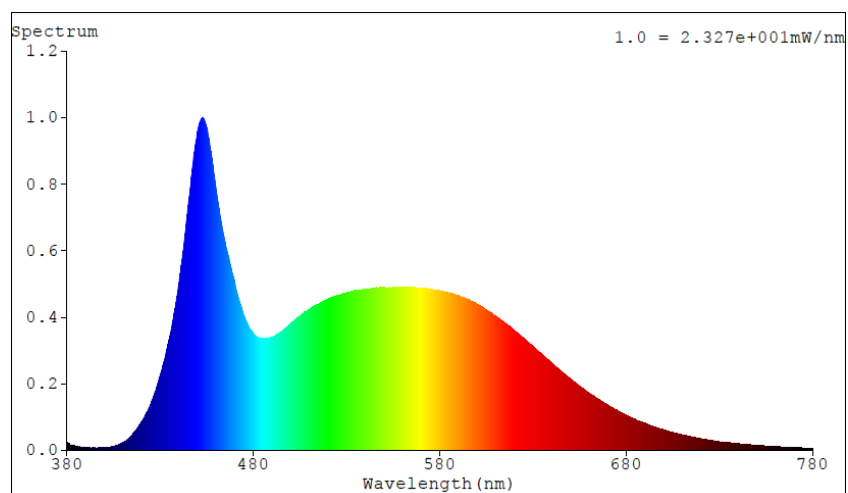
<b>Kompaktní SMD LED zdroj EMOS 9 W 6500 K</b>			
Veličina	Parametry udávané výrobcem	Veličina	Naměřené parametry
Příkon (W)	9	Příkon (W)	9,5
Náhradní teplota chrom. (K)	6500	Náhradní teplota chrom. (K)	2734
Světelný tok (lm)	806	Světelný tok (lm)	746,5
Index podání barev (-)	R <sub>a</sub> >80	Index podání barev (-)	81,1
Měrný výkon (lm/W)	90	Měrný výkon (lm/W)	82,7
Účinnost (-)	0,5	Účinnost (-)	0,51
Startovací doba (s)	0,1	Napětí (V)	230,1
Životnost (h)	30 000	Proud (mA)	55,3
Počet spínacích cyklů (-)	25 000	SMDC	1,1
Patice	E27		
Typ baňky	A60		
Průměr (mm)	60		
Délka (mm)	110		
Energetická třída	A+		



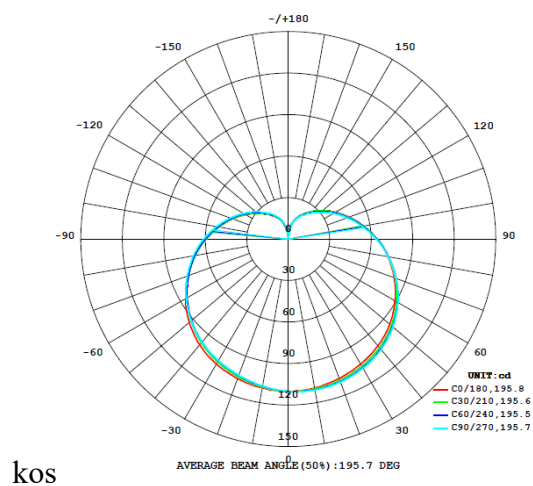
Obrázek 42 - Spektrální charakteristika kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 2700 K



Obrázek 43 - Spektrální charakteristika kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 4100 K

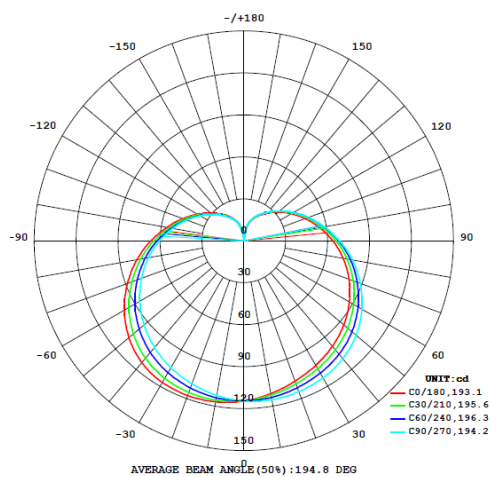


Obrázek 44 - Spektrální charakteristika kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 6500 K

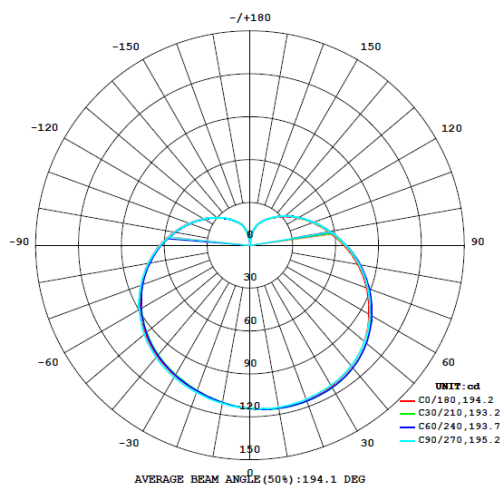


kos

Obrázek 45 - Křivky svítivosti kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 2700 K



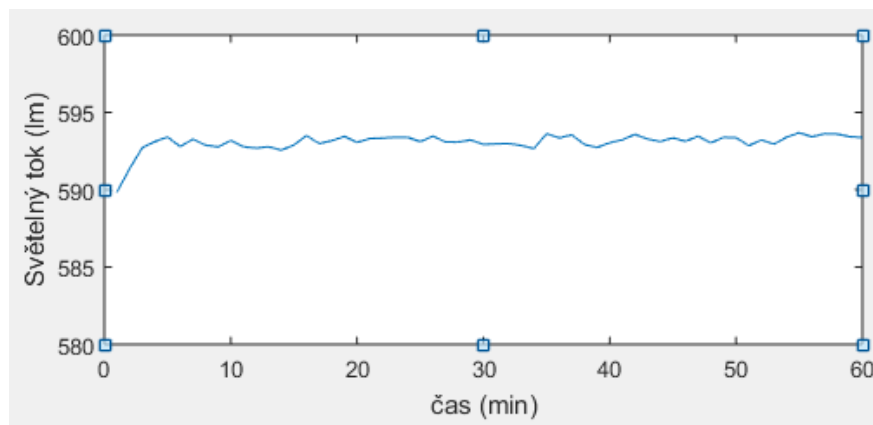
Obrázek 46 - Křivky svítivosti kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 6500 K



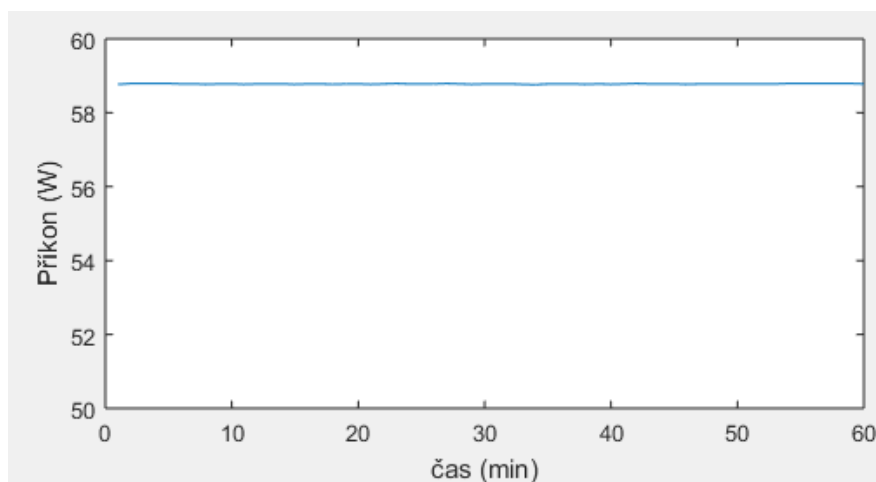
Obrázek 47 - Křivky svítivosti kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 6500 K

## 5.7 Měření příkonu, světelného toku a měrného výkonu v závislosti na čase

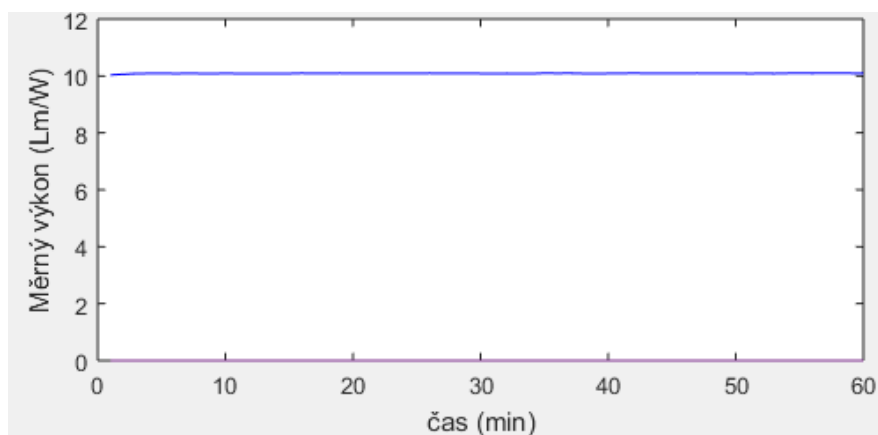
### 5.7.1 Klasická žárovka



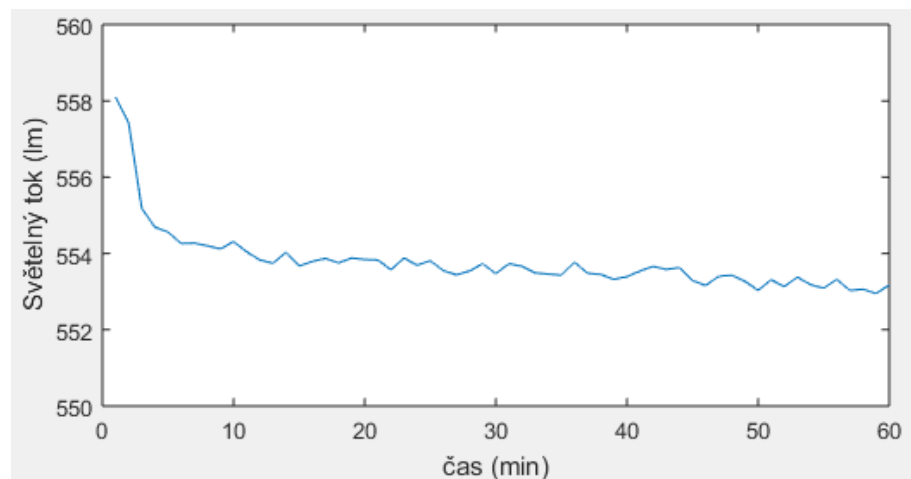
Obrázek 48 - Naměřený příkon v závislosti na čase



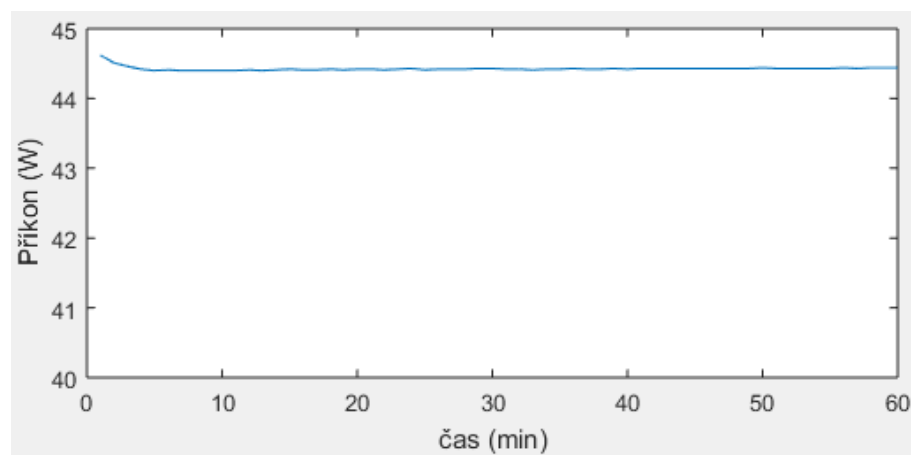
Obrázek 49 - Vyzářovaný světelný tok v závislosti na čase



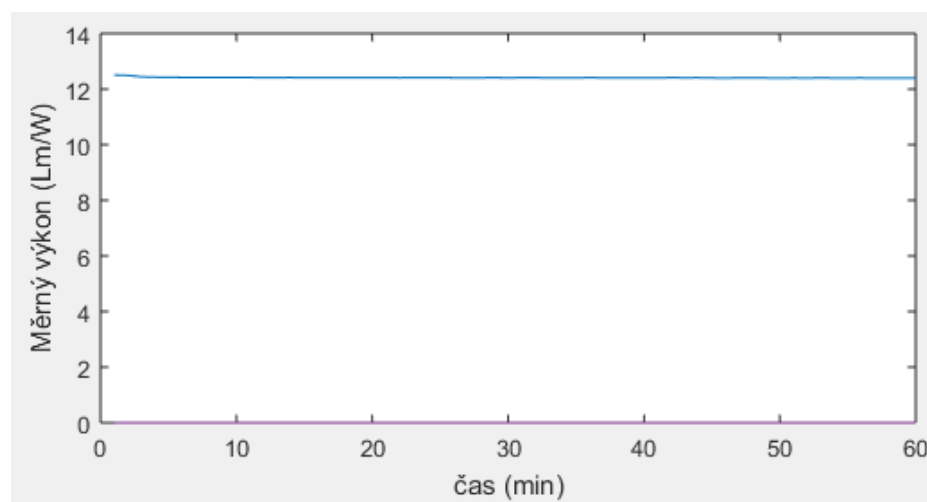
Obrázek 50 - Měrný výkon v závislosti na čase



Obrázek 51 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase

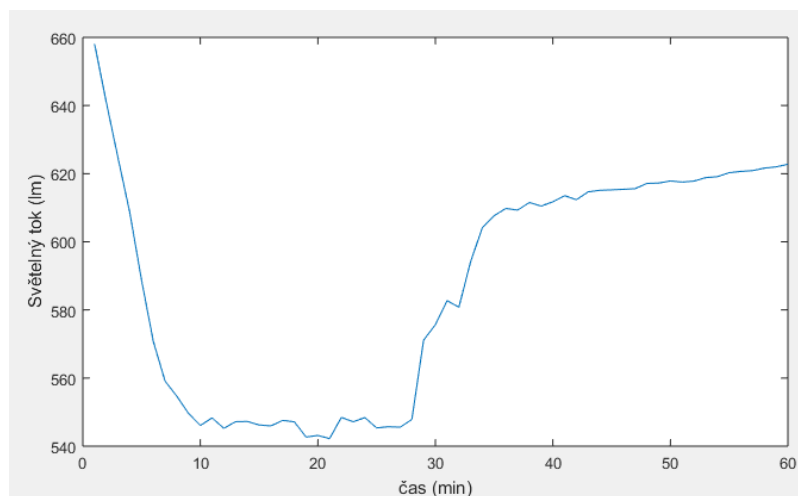


Obrázek 52 - Naměřený příkon v závislosti na čase

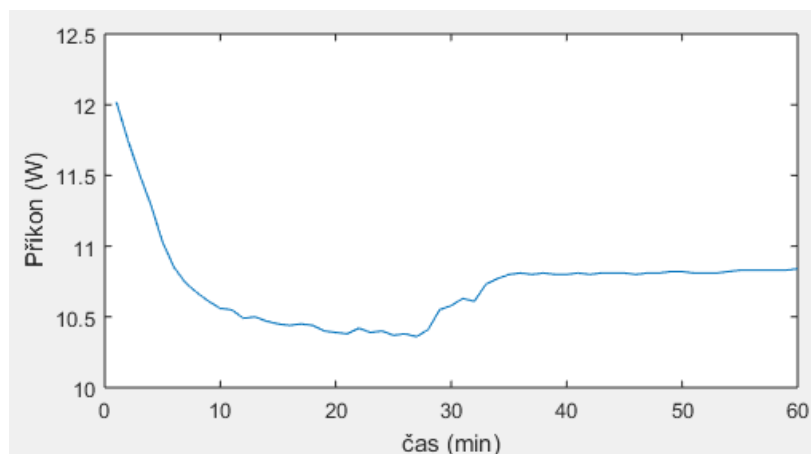


Obrázek 53 - Měrný výkon v závislosti na čase

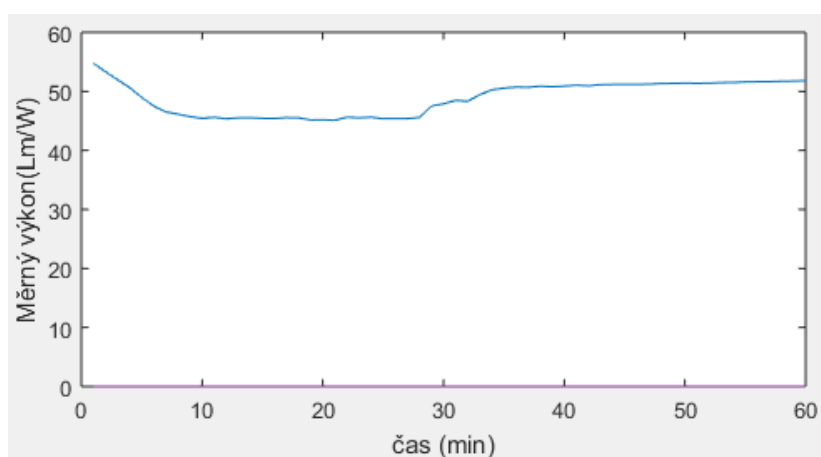
### 5.7.2 Kompaktní zářivka



Obrázek 54 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase

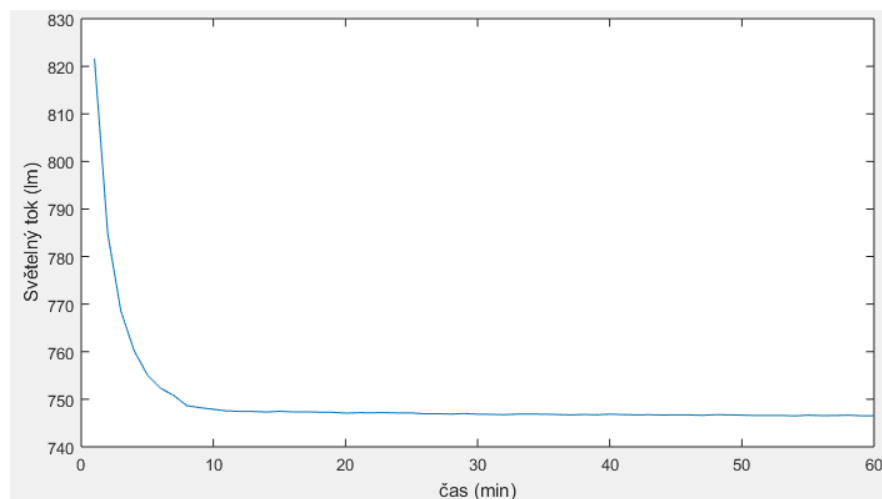


Obrázek 55 - Naměřený příkon v závislosti na čase

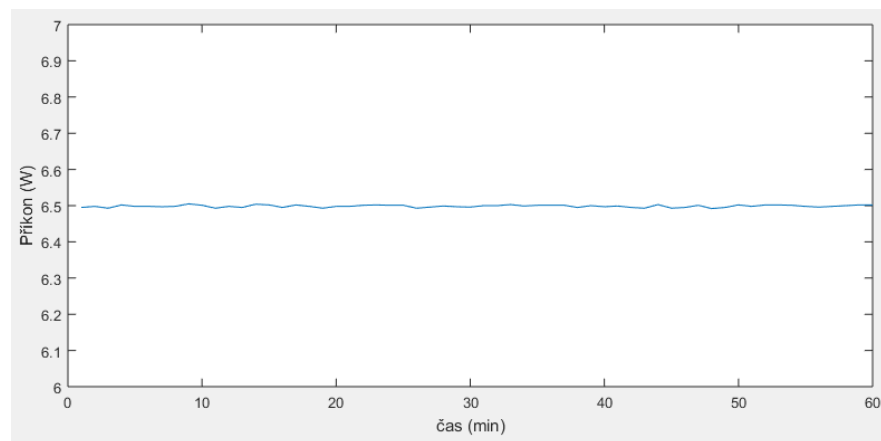


Obrázek 56 - Měrný výkon v závislosti na čase

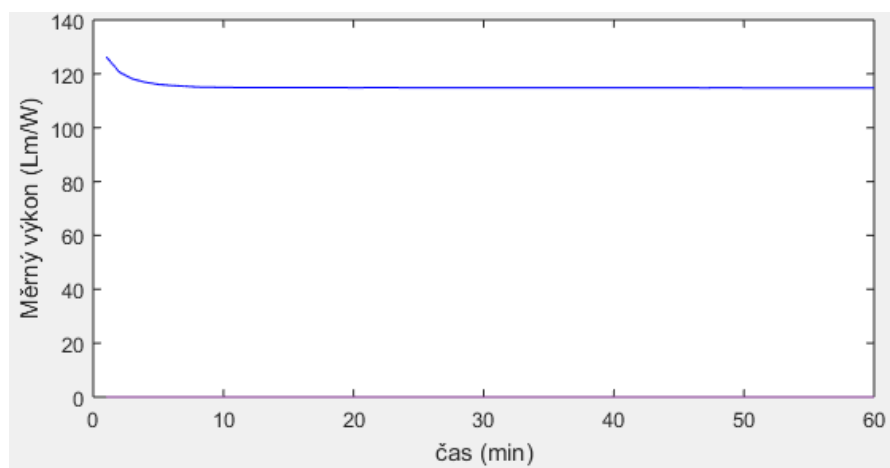
### 5.7.3 Kompaktní vláknový LED světelná zdroj



Obrázek 57 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase



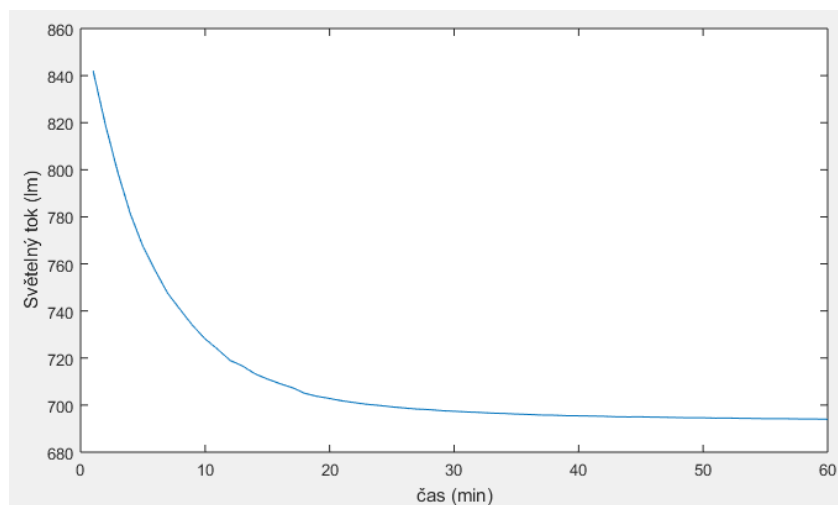
Obrázek 58 - Naměřený příkon v závislosti na čase



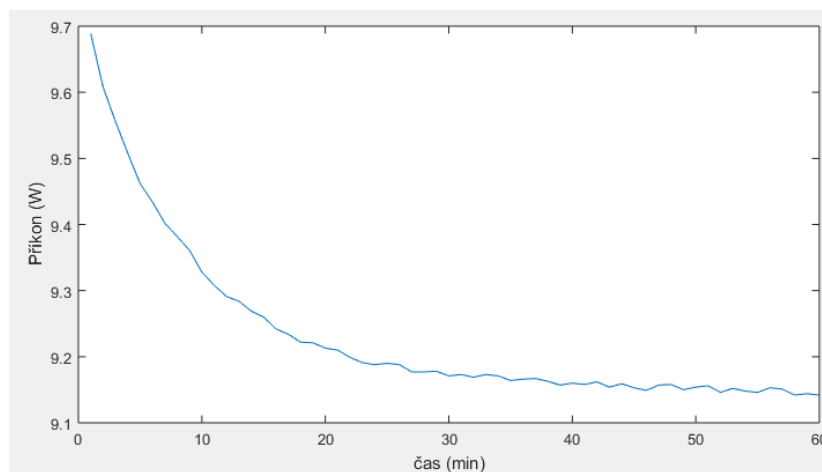
Obrázek 59 - Měrný výkon v závislosti na čase



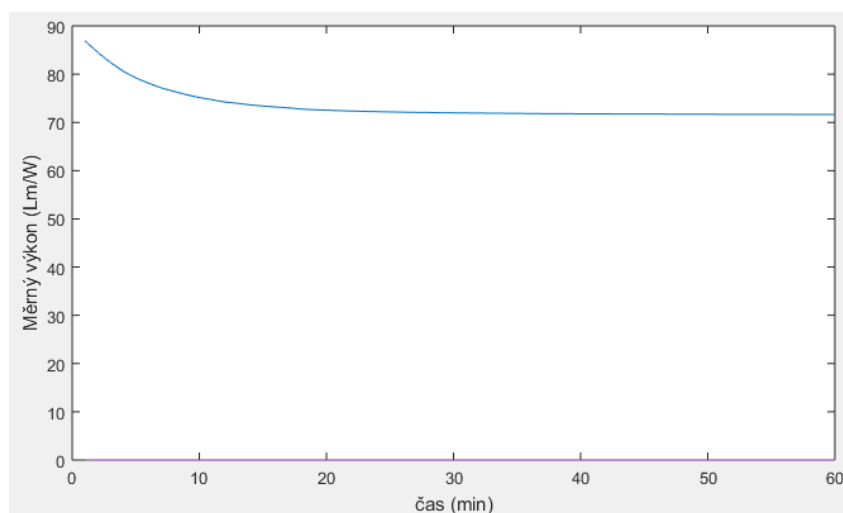
#### 5.7.4 Kompaktní SMD LED světelný zdroj



Obrázek 60 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase



Obrázek 61 - Naměřený příkon v závislosti na čase



Obrázek 62 - Měrný výkon v závislosti na čase

## 6 SROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH NAMĚŘENÝCH A KATALOGOVÝCH PARAMETRŮ

### 6.1 Srovnání a vyhodnocení spektrálních charakteristik

#### Teplotní světelné zdroje:

Vyzařované spektrum žárovek je spojitě po celé své délce. Začíná v ultrafialové oblasti, přechází do viditelné oblasti a pokračuje do infračervené oblasti. Hodnota vyzařovaného světelného toku  $\Phi(\lambda)$  postupně narůstá se zvětšující se vlnovou délkou.

Spektra vyzařované klasickou a halogenovou žárovkou jsou téměř totožná, jelikož se jedná o stejný typ světelného zdroje. Hlavním rozdílem je velikost vyzařovaného ultrafialového záření. U halogenových žárovek se vlákno zahřívá na vyšší teplotu než u žárovek klasických. To má za následek zvětšení intenzity ultrafialového záření z důvodu posunutí maxima zářivého toku do nižších vlnových délek.

#### Výbojové světelné zdroje:

Ze spektrální charakteristiky kompaktní zářivky (Obr 36) je možno vidět, že vyzařované spektrum není spojitě po celé délce. Je složeno z řady jednotlivých špiček (peaku), které jsou dány kombinací použitých luminoforů. Největší část světelného toku je vyzařena v oblasti od 530 do 640 nm s maximem v 611 nm. V oblasti od 650 do 780 nm naopak není vyzařeno téměř nic.

#### Elektroluminiscenční světelné zdroje:

Spektrální charakteristiky světelných zdrojů LED jsou na rozdíl od kompaktních zářivek spojitě po celé délce spektra. Je složeno z luminiscenční složky a fosforescenční složky. Většina světelného toku je vyzařena v oblasti 430 do 700 nm. V oblastech od 380 do 430 nm a 700 až 780 nm tyto světelné zdroje nevyzařují téměř vůbec.

Výsledná náhradní teplota chromatičnosti je dána poměrem luminiscenční a fosforescenční složky. U „teplých“ světelných zdrojů (viz Obr. 39 a 42) je většina primárního záření konvertována do větších vlnových délek. Tyto spektra dosahují maxima okolo 605 nm. Naopak u „studeného“ světelného zdroje (viz Obr. 44) hlavní část spektra tvoří primární záření světelné diody s maximem v 448 nm. Spektrum světelného zdroje s neutrální barvou světla (viz Obr. 43) je kombinací předešlých dvou. Spektrum je tvořeno z větší části fosforescenční složkou s maximem v 597 nm, ale výraznou část tvoří také elektroluminiscenční složka s maximem v 450 nm.

#### Vyhodnocení spektrálních charakteristik:

Nejlepší spektrální vlastnosti ze všech testovaných světelných zdrojů mají teplotní světelné zdroje. Jejich spektrum je nejpřirozenější pro lidské oko, jelikož obsahuje všechny vlnové délky viditelného spektra. Naopak nejhorší spektrální vlastnosti má kompaktní zářivka z důvodu nespojitého spektra.

## 6.2 Srovnání a vyhodnocení křivek svítivosti

### Klasická žárovka:

Z křivek svítivosti klasické žárovky (viz Obr. 31) lze vidět, že žárovka díky své jednoduché konstrukci vyzařuje téměř rovnoměrně do celého prostoru. Kastrbatost křivek je zapříčiněna nesymetrickým tvarem wolframového vlákna.

### Halogenová žárovka:

Největší část světelného toku halogenové žárovky se vyzáří v kolmém směru k ose světelného zdroje (viz Obr. 34). Naopak ve směru osy světelného zdroje se vyzáří jen velmi malá část světelného toku. To je zapříčiněno zátavem umístěným na vrchní straně baňky, který do značné míry omezuje průchodnost světelného toku ve směru osy zdroje.

### Kompaktní zářivka:

Křivky svítivosti kompaktní zářivky (viz Obr. 37) jsou velmi podobné jako křivkám klasické žárovky. Světelný zdroj vyzařuje téměř rovnoměrně do všech směrů. Světelný tok vyzářený v ose světelného zdroje je o něco málo menší než světelný tok vyzařovaný kolmo na osu zdroje. Tento rozdíl je zapříčiněn spirálovitým tvarem výbojové trubice.

### Kompaktní vláknový LED zdroj:

Z křivek svítivosti tohoto zdroje (viz Obr. 40) lze vidět, že většina světelného toku se vyzáří v kolmém směru na osu světelného zdroje. Ve směru osy zdroje se vyzáří nejmenší množství světelného toku ze všech testovaných světelných zdrojů, jelikož všechny vlákna se světelnými diodami jsou umístěny pouze po obvodu tyčinky uvnitř baňky.

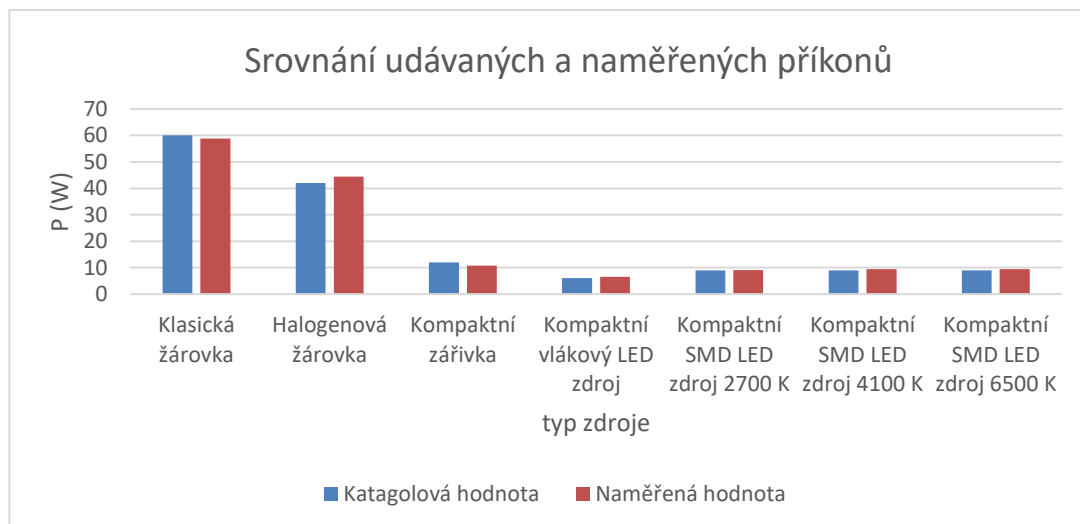
### Kompaktní SMD LED zdroje:

Křivky svítivosti všech 3 testovaných kompaktních SMD LED světelných zdrojů (viz Obr. 45 až 47) jsou téměř totožné. Na rozdíl od vláknových LED zdrojů se většina světelného toku vyzáří ve směru osy světelného zdroje, jelikož v tomto směru vyzařují světelné diody. Určitá část vyzářeného světelného toku je pomocí difuzoru rozptýlena do okolí. Výsledné křivky svítivosti kopírují tvar difuzoru světelného zdroje.

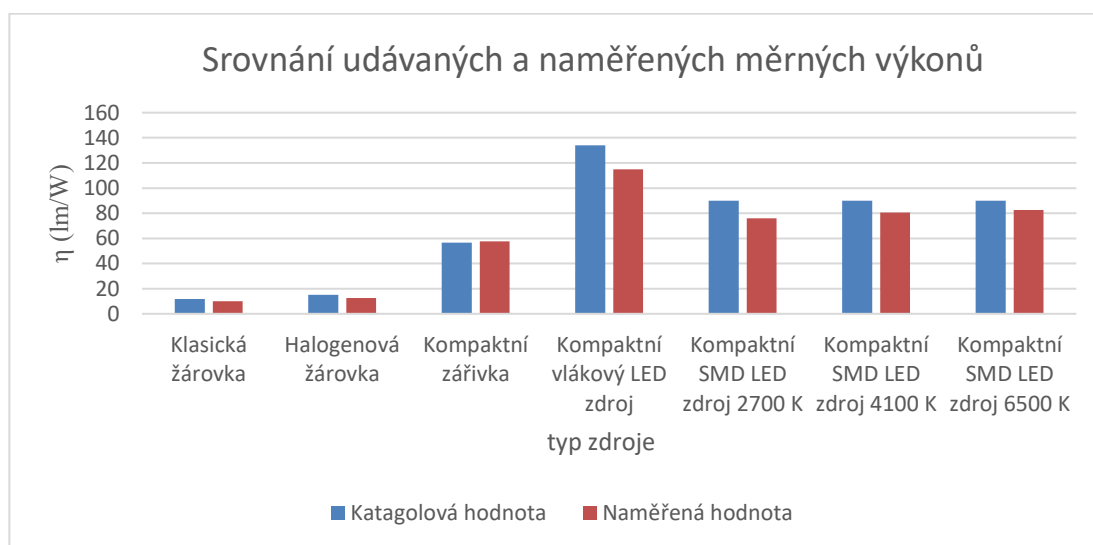
### Vyhodnocení křivek svítivosti:

Nejvhodnější křivky svítivosti ze všech testovaných měla zase opět klasická žárovka. Podobě dobře dopadla taky kompaktní zářivka. Oba typy světelných zdrojů vyzařují světelný tok téměř rovnoměrně všemi směry. Z křivek svítivosti ostatních světelných zdrojů lze vidět, že vyzářený světelný tok není rovnoměrně rozložen do celého prostoru. Nerovnoměrné rozložení světelného toku světelných zdrojů může činit problémy při použití v určitých typech svítidel.

### 6.3 Srovnání a vyhodnocení elektrických a světelně-technických parametrů v ustáleném stavu



**Graf 1: Srovnání udávaných a naměřených příkonů**



**Graf 2: Srovnání udávaných a naměřených měrných výkonů**

#### Vyhodnocení elektrických a světelně-technických parametrů

V grafech 1 a 2 je znázorněno srovnání katalogových a naměřených hodnot příkonu a měrného výkonu světelných zdrojů. Všechny naměřené hodnoty odpovídají hodnotám udávaných výrobcem. Odchylka naměřených hodnot je ve většině případů do 10 %. U kompaktních LED zdrojů s náhradní teplotou chromatičnosti 2700 K odchylka naměřeného měrného výkonu dosahuje 15 %. To může být způsobeno velkými ztrátami při konvekci primárního záření.

Ze všech testovaných světelných zdrojů měla nejmenší měrný světelný výkon klasická žárovka (okolo 10 lm/W). O moc lépe na tom nebyla ani halogenová se měrným světelným výkonem okolo 12 lm/W. Výrazně lépe dopadla kompaktní zářivka se měrným světelným

výkonem blížící se hodnotě 60 lm/W. Nejlepších měrných světelných výkonů dosahovaly elektroluminiscenční světelné zdroje. Naměřené hodnoty se lišily podle konkrétního typu světelného zdroje. Měrné světelné výkony kompaktních SMD LED světelných zdrojů se pohybovaly od 75 do 82 lm/W. Nejlépe ze všech testovaných dopadl kompaktní vláknový LED světelný zdroj s měrným výkonem okolo 115 lm/W.

## **6.4 Srovnání a vyhodnocení elektrických a světelně-technických parametrů v závislosti na čase**

### **Teplotní světelné zdroje:**

Všechny naměřené veličiny teplotních zdrojů v závislosti na čase byly téměř konstantní. Rozdíl mezi hodnotami v první minutě a v ustáleném stavu je do 1 %.

### **Výbojový světelný zdroj:**

Z naměřených hodnot kompaktní zářivky (viz Obr 53 až 55) můžeme vidět, výrazné změny světelného toku a příkonu. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v první minutě po zapnutí. V prvních 10 minutách naměřené hodnoty postupně klesaly až klesly o 15 % vůči původní hodnotě. Asi po 25 minutách od zapnutí zdroje hodnoty opět začínaly postupně narůstat až do doby ustálení.

### **Elektroluminiscenční zdroje:**

Z naměřených hodnot kompaktních LED zdrojů v závislosti na čase (viz Obr. 56 až 61) můžeme vidět, že s rostoucím časem klesá hodnota světelného toku a příkonu. Rozdíl hodnot vyzařovaného světelného toku v první minutě a v ustálené hodnotě činí okolo 15 %. To je zapříčiněno velkou teplotní závislostí LED diod. Hodnoty kompaktního SMD LED zdroje se ustálily asi po pul hodině. U kompaktního vláknového LED zdroje dojde k ustálení již po 10 minutách. Z toho vyplývá že vláknový LED zdroj dosáhne maximálního oteplení o mnohem rychleji než SMD LED zdroj. To je zapříčiněno rozdílnou schopností chlazení obou typů světelných zdrojů.

### **Vyhodnocení elektrických a světelně-technických parametrů v závislosti na čase:**

Ze všech testovaných světelných zdrojů mají nejvhodnější elektrické a světelně-technické parametry v závislosti na čase teplotní světelné zdroje.

Z výsledků měření zbylých testované světelných zdrojů je patrné, že se jejich elektrické a světelně-technické parametry mění s rostoucím otelením.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce je měření a porovnávání kvalitativních a kvantitativních světelných parametrů běžně dostupných světelných zdrojů s patičí E27.

V první části práce je rozebrán princip funkce jednotlivých světelných zdrojů a normativní požadavky na ně kladené. Je zde uvedeno také seznámení s jednotlivými světelně-technickými parametry a princip jejich měření.

Druhá část práce se zabývá měřením křivek svítivosti, spektrálního vyzařování, elektrických a světelně-technických parametrů. K měření byl použit kulový integrátor a goniofotometr od výrobce EVERFINE. Naměřené hodnoty byly poté srovnány a vyhodnoceny. Z naměřených hodnot je patrné, že nejvhodnější spektrální vlastnosti a křivky svítivosti má klasická žárovka. Bohužel ale tato žárovka má ze všech testovaných světelných zdrojů nejmenší měrný světelný výkon. To je hlavní důvod postupného přechodu na jiné typy světelných zdrojů. Naopak nejlepších měrných světelných výkonů dosahovaly světelné zdroje osazené LED diodami. Tyto světelné zdroje zase naopak nemají tak vhodné spektrální vlastnosti a také nevyzařují světlo všemi směry, jako je to u klasických žárovek.

I přes mírné nedostatky v oblasti spektra a křivek svítivosti jsou elektroluminiscenční světelné zdroje stále považovány za jedny z nejlepších světelných zdrojů vůbec. Jejich vývoj není ještě zcela dokončen. Předpokládá se, že po úplném přechodu na osvětlení pomocí LED diod by mohl klesnout podíl spotřebované elektrické energie na osvětlování z 19 % na 11 %.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽAK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] SOKANSKÝ K. a kol.: *Světelná technika*, Praha 2011, nakl. ČVUT Praha
- [3] ČSN EN 60968 ed. 2. *Světelné zdroje s integrovanými předřadníky pro všeobecné osvětlování - Požadavky na bezpečnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2013.
- [4] ČSN EN 62560. *LED světelné zdroje pro všeobecné světlování s integrovaným předřadníkem na napájecí napětí > 50 V – požadavky na provedení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2013.
- [5] ČSN EN 62612. *LED světelné zdroje pro všeobecné světlování s integrovaným předřadníkem na napájecí napětí > 50 V – požadavky na bezpečnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2013.
- [6] DRÁPELA, J., KURSA, M., *Elektrotechnické materiály*, Ostrava VŠB, 2012, 439
- [7] Philips lighting [online katalogový list] 8718696454916. 2019 [5.4.2019]. dostupné z [https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/8718696454916-pss-en\\_sg](https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/8718696454916-pss-en_sg)
- [8] Luxifer CZ s.r.o 2018 [online] Škrétova 4, Praha 2, 120 00 [5.4.2019] Dostupné z: <https://www.lxf.cz/co-je-technologie-filament>
- [9] EMOS spol s.r.o 2018 [online] Šířava 295/17, 750 02 Přerov [5.4.2019] Dostupné z: <https://shop.emos.cz>
- [10] Luxifer CZ s.r.o 2018 [online] Škrétova 4, Praha 2, 120 00 [5.4.2019] Dostupné z: <https://www.lxf.cz/co-je-index-cri>
- [11] ČSN 36 0340-1 IEC 61-1. *Patice a objímky pro světelné zdroje včetně kalibrů pro kontrolu nezaměnitelnosti a bezpečnosti část 1: Patice pro zdroje světla*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
- [11] ČSN 36 0340-1 IEC 61-1. *Patice a objímky pro světelné zdroje včetně kalibrů pro kontrolu nezaměnitelnosti a bezpečnosti část 3: Kalibry*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
- [13] ČSN IEC 60061-4. *Patice a objímky pro světelné zdroje včetně kalibrů pro kontrolu nezaměnitelnosti a bezpečnosti - Část 4: Směrnice a všeobecné informace*. Praha: Český normalizační institut, 1997.

- [14] ČSN EN 60238 ED.5. *Objímky s Edisonovým závitem pro světelné zdroje*. Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [15] KREJČÍ, Robert a Eduard HULICIUS. Microdesignum: Polovodičové lasery a LED-ky. [online]. 23.04.2007 [cit. 2019.12.11]. Dostupné z: <http://www.microdesignum.cz/clanky/Polovodicove-lasery-a-LED-ky.html>
- [16] BORDOVSKÝ, Lukáš. *Hodnocení LED náhradních zdrojů*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektroenergetiky.
- [16] EVERFINE corporation [online katalogový list]. *HAAS-3000 User's Manual V1.10*. [cit. 20.12.2018]



## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Poměrné spektrální složení denního světla D65 a světla žárovky [1].....	4
Obrázek 2 - Konstrukce klasické žárovky [1].....	5
Obrázek 3 - Závislost základních parametrů klasické žárovky na napájecím napětí [1] .....	7
Obrázek 4 - Zjednodušené schéma wolfram-halogenového cyklu [1] .....	7
Obrázek 5 - Konstrukce jednotiskové halogenové žárovky [1] .....	8
Obrázek 6 - Konstrukce lineární zářivky [1] .....	10
Obrázek 7 - Míchání barev RGB [17].....	12
Obrázek 8 - Typická spektra LED diod s fosforovým luminoforem [2].....	13
Obrázek 9 - Kompaktní LED zdroj s krystalickým difuzorem od firmy Philips [7] .....	14
Obrázek 10 - Kompaktní LED zdroj od firmy EMOS bez difuzoru.....	15
Obrázek 11 - Chladič potažený izolačním materiálem .....	15
Obrázek 12 - Napájecí proudový zdroj s deskou osazenou LED diodami .....	15
Obrázek 13 - Deska osazená SMD LED diodami .....	15
Obrázek 14 - Konstrukce vlákna osazeného diodami [8] .....	16
Obrázek 15 - Kompaktní vláknový LED zdroj bez baňky.....	16
Obrázek 16 - Konstrukce integrovaného předřadníku umístěného v patici E27 .....	16
Obrázek 17 - Kompaktní vláknové LED zdroje od firmy EMOS s náhradní teplotou chromatičnosti 2200 K [9] .....	17
Obrázek 18 - Základní typy závitové patice E27 [11] .....	20
Obrázek 19 - Rozměry závitové patice E27 [11].....	21
Obrázek 20 - <i>Detail závitu</i> [11] .....	22
Obrázek 21 - <i>Pravý závit</i> [11].....	22
Obrázek 22 - <i>Spektrální citlivost lidského oka</i> [15].....	25
Obrázek 23 – Grafické znázornění účinníku .....	27
Obrázek 24 - Náčrt uspořádání integračního kulového fotometru [1].....	27
Obrázek 25 - Soustava měřících rovin C- $\gamma$ [2] .....	28

Obrázek 26 - Náčrt konstrukce goniofotometru s otočnou zrcadlovou soustavou a pevným fotočlánkem [1] .....	29
Obrázek 27 - Náčrt konstrukce goniofotometru s otočným ramenem [1] .....	29
Obrázek 28 - Ilustrační foto integrační koule [16].....	31
Obrázek 29 - Klasická žárovka od firmy OSRAM .....	32
Obrázek 30 - Spektrální charakteristika klasické žárovky .....	33
Obrázek 31 - Křivky svítivosti klasické žárovky .....	33
Obrázek 32 - Halogenová žárovka od firmy EMOS [9] .....	34
Obrázek 33 - Sápektrální charakteristika halogenové žárovky .....	35
Obrázek 34 - Křivky svítivosti halogenové žárovky .....	35
Obrázek 35 - Kompaktní zářivka od firmy EMOS [9] .....	36
Obrázek 36 - Spektrální charakteristika kompaktní zářivky .....	37
Obrázek 37 - Křivky svítivosti kompaktní zářivky .....	37
Obrázek 38 - Kompaktní vláknový LED světelný zdroj od firmy EMOS [9] .....	38
Obrázek 39 - Spektrální charakteristika kompaktního vláknového LED světelného zdroje .	39
Obrázek 40 - Křivky svítivosti kompaktního vláknového LED světelného zdroje .....	39
Obrázek 41 - kompaktní SMD LED světelný zdroj od firmy EMOS [9] .....	40
Obrázek 42 - Spektrální charakteristika kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 2700 K .....	43
Obrázek 43 - Spektrální charakteristika kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 4100 K .....	43
Obrázek 44 - Spektrální charakteristika kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 6500 K .....	43
Obrázek 45 - Křivky svítivosti kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 2700 K .....	44
Obrázek 46 - Křivky svítivosti kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 6500 K .....	44
Obrázek 47 - Křivky svítivosti kompaktního SMD LED světelného zdroje s náhradní teplotou chromatičnosti 6500 K .....	44

Obrázek 48 - Naměřený příkon v závislosti na čase.....	45
Obrázek 49 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase .....	45
Obrázek 50 - Měrný výkon v závislosti na čase .....	45
Obrázek 51 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase .....	46
Obrázek 52 - Naměřený příkon v závislosti na čase.....	46
Obrázek 53 - Měrný výkon v závislosti na čase .....	46
Obrázek 54 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase .....	47
Obrázek 55 - Naměřený příkon v závislosti na čase.....	47
Obrázek 56 - Měrný výkon v závislosti na čase .....	47
Obrázek 57 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase .....	48
Obrázek 58 - Naměřený příkon v závislosti na čase.....	48
Obrázek 59 - Měrný výkon v závislosti na čase .....	48
Obrázek 60 - Vyzařovaný světelný tok v závislosti na čase .....	49
Obrázek 61 - Naměřený příkon v závislosti na čase.....	49
Obrázek 62 - Měrný výkon v závislosti na čase .....	49

## 10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Základní světelné a elektrické parametry klasických žárovek [1] .....	6
Tabulka 2 - Materiály pro výrobu jednotlivých barev LED [6] .....	13
Tabulka 3 - Rozměry patice a objímky E27 [11] .....	21
Tabulka 4 - Dobrý kalibr pro patice E27 na hotových zdrojích [11] .....	22
Tabulka 5 - Teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých světelných zdrojů [2] .....	26
Tabulka 6 - Rozdělení barvy světla podle náhradní teploty chromatičnosti .....	26
Tabulka 7 - Seznam měřených světelných zdrojů .....	30
Tabulka 8 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry halogenové žárovky EMOS .....	34
Tabulka 9 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktní zářivky EMOS .....	36
Tabulka 10 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního vláknového LED světelného zdroje .....	38
Tabulka 11 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního SMD LED světelného zdroje 2700 K.....	40
Tabulka 12 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního SMD LED světelného zdroje 4100 K.....	41
Tabulka 13 - Parametry udávané výrobcem a naměřené parametry kompaktního SMD LED světelného zdroje 6500 K.....	42